


OTECA

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

DE

PHYSIQUE.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

OU

PRINCIPES DE PHYSIQUE,

Fondés sur les connoissances les plus certaines, tant anciennes que modernes, et confirmés par l'expérience.

PAR MATHURIN-JACQUES BRISSON,

Membre de l'Institut national des Sciences et des Arts, et Professeur aux Écoles centrales de Paris.

QUATRIÈME ÉDITION,

REVUE, CORRIGÉE ET AUGMENTÉE PAR L'AUTEUR.

TOME SECOND.





A PARIS,

CHEZ BOSSANGE, MASSON ET BESSON.

AN XI. — MDCCCIII.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE.



CHAPITRE X.

Des Fluides élastiques.

587. UNE loi générale et constante de la nature, est que, lorsqu'on échauffe un corps, solide ou fluide, il augmente de dimensions dans tous les sens : il n'y a à cela aucune exception. Si, après avoir ainsi écarté les molécules d'un solide, on le laisse refroidir, ces molécules se rapprochent dans la même proportion : le corps repasse, mais en sens inverse, par les mêmes degrés d'extension qu'il avoit parcourus; et, rendu à sa première température, il reprend sensiblement sa première dimension. Si on le refroidit davantage, il devient plus petit.

Mais, comme nous ne connoissons aucun degré de refroidissement qui ne soit susceptible d'augmentation, que nous ne connoissons point le o chaleur, il en résulte que nous ne sommes pas encore parvenus à rapprocher, le plus qu'il est possible, les molécules

d'aucun corps; d'où l'on peut conclure que les molécules d'aucun corps ne se touchent; ou du moins si elles se touchent, ce n'est que par très-peu de points. Conclusion très-singulière, et à laquelle il est cependant impossible de se refuser.

On conçoit que les molécules des corps, ainsi sollicitées par la chaleur à s'écarter les unes des autres, n'auroient aucune liaison entr'elles; il n'y auroit aucun corps solide, si elles n'étoient retenues par une force qui tendît à les réunir. Cette force, quelle qu'en soit la cause, a été nommée *attraction* ou *affinité*.

Les molécules des corps obéissent donc alternativement à deux forces contraires : l'une répulsive, qui résulte de l'action de la matière de la chaleur; l'autre attractive, produite par leur attraction ou affinité mutuelle : et ces molécules sont en équilibre entre ces deux puissances. Tant que l'attraction est la plus forte, le corps demeure solide : si l'attraction devient la plus foible, les molécules perdent leur adhérence, et le corps cesse d'être un solide. L'eau nous présente un exemple de ces phénomènes. Au-dessous du terme de la glace, elle est solide, et se nomme *glace* : au-dessus de ce terme elle devient un liquide; au dessus de son degré bouillant elle prend l'état de vapeur ou de gas, et elle se transforme en un fluide aériforme.

On en peut dire autant de presque tous les corps de la nature. Ils sont ou solides, ou liquides, ou dans l'état aériforme, suivant le rapport qui se trouve entre la force attractive des molécules, et la force répulsive de la matière de la chaleur. Ces phénomènes sont l'effet d'un fluide très-subtil, qui s'insinue entre les molécules de tous les corps, qui est la cause de la

chaleur, et qu'on appelle *calorique*. C'est ainsi que se forment tous les *fluides élastiques aériformes*.

Mais de quelle manière le calorique agit-il sur les corps? Il est assez difficile de répondre à cette question, puisque le calorique pénètre à travers tous les pores des corps, puisqu'aucun vase ne peut le contenir sans perte. On ne peut en connoître les propriétés que par des effets, la plupart fugitifs et difficiles à saisir. Quand on ne peut ni voir ni palper, il faut se tenir en garde contre les écarts de l'imagination, qui tend toujours à s'élancer au-delà du vrai.

Nous venons de voir que le même corps devient solide, ou liquide, ou aériforme, suivant la quantité de calorique dont il est pénétré, suivant que la force répulsive du calorique, est ou plus foible, ou égale, ou surpasse l'attraction de ses molécules. Mais s'il n'existoit que ces deux forces, les corps ne resteroient liquides qu'à un degré de chaleur précis : ils passeroient brusquement de l'état de solide à l'état aériforme. L'eau, par exemple, en cessant d'être glace, commenceroit à bouillir, et se transformeroit en fluide aériforme. Mais il y a une troisième force qui s'oppose à cet effet : cette force, c'est la pression de l'atmosphère. C'est pourquoi l'eau demeure liquide depuis le terme de sa congélation jusqu'à son degré bouillant. Si l'on diminue cette pression, elle bout et se vaporise plutôt.

On voit donc que, sans la pression de l'atmosphère, nous n'aurions pas de liquides constans : les corps ne seroient dans cet état qu'au moment précis où ils se fondent : le premier degré de chaleur suivant les rendroit fluides aériformes. Nous n'aurions même pas de fluides aériformes; car, au moment où la force de

l'attraction seroit vaincue par la force répulsive du calorique, les molécules s'écarteroient indéfiniment. On peut se convaincre de cela par l'expérience suivante. Sous un récipient à boîte à cuir armée d'une lame aiguë, et auquel est adapté un thermomètre, on place un petit vase; un peu plus haut que large, exactement rempli d'éther, et bien bouché avec une vessie. Après avoir fait le vide sous le récipient, on crève la vessie avec la lame. Aussitôt l'éther bout rapidement, et remplit le récipient de sa vapeur. Pendant la vaporisation, le tout se refroidit considérablement, ce que prouve l'abaissement de la liqueur du thermomètre, parce que le calorique se combine avec la substance qui s'évapore; et que le calorique combiné, quelque abondant qu'il soit, n'occasionne aucune chaleur sensible. Si l'on laisse le tout assez long-temps pour que cela reprenne la température du lieu, et qu'ensuite on fasse rentrer l'air sous le récipient, le thermomètre remonte beaucoup au-dessus du point où il étoit, parce que la vapeur, exposée à la pression de l'air, reprend l'état de liqueur : et le calorique cessant d'être combiné, et redevenant libre, occasionne ce degré de chaleur sensible qui fait monter le thermomètre.

Nous venons de voir comment se forment les fluides élastiques. Ces fluides sont tous ceux qui ont pris la forme de l'air de l'atmosphère, et qui en ont les apparences. Il y en a de deux sortes : les uns sont *permanens*, et les autres *non-permanens*.

588. Avant d'expliquer ce que signifient ces termes, il faut savoir que la matière de la chaleur (qu'on peut aussi appeler la matière du feu, et qu'on appelle maintenant le *calorique*) est un fluide particulier ré-

pandu dans tous les corps de la nature, et qui y existe dans deux états différens; savoir, dans l'état de liberté, et dans l'état de combinaison. La matière de la chaleur, dans l'état de liberté, est celle qui se trouve logée entre les particules des corps, qu'on ne peut point contenir dans un vaisseau fermé, que rien n'arrête, parce qu'elle pénètre avec facilité toutes les substances d'une surface à l'autre. Celle-ci seule est capable d'exciter une chaleur sensible à nos organes. Cette même matière dans l'état de combinaison, est celle qui constitue un des principes des corps. Dans cet état, elle n'est qu'une chaleur cachée, une chaleur *latente;* de sorte qu'un corps qui en contiendroit une très-grande quantité, ne seroit pas pour nous plus chaud que celui qui n'en contiendroit point du tout. Cette matière se degage souvent dans la décomposition des corps : alors de chaleur cachée, elle devient chaleur sensible en prenant l'état de liberté; elle devient susceptible d'agir sur les corps placés dans son atmosphère, et le thermomètre en peut mesurer la force. C'est pour cela que, dans la décomposition des corps, il arrive souvent qu'il y a de la chaleur excitée, comme dans la putréfaction. Au contraire, dans certaines combinaisons, dans lesquelles il y a beaucoup de la matière de la chaleur d'absorbée, il y a refroidissement; comme, par exemple, lorsqu'un corps passe de l'état liquide à celui de vapeur. Il ne peut ainsi changer d'état, sans absorber une grande quantité de la chaleur libre qui se trouve dans les corps qui l'avoisinent, ce qui les refroidit nécessairement.

589. Nous avons dit (587) qu'il y a des fluides élastiques *permanens*, et d'autres *non-permanens*.

Les premiers sont ceux dans lesquels la matière de la chaleur est dans l'état de combinaison. Ceux-ci conservent leur état de fluides élastiques, à quelque température qu'ils soient, c'est pourquoi on les appelle *permanens*. Tels sont l'air et les gas. Les fluides élastiques *non-permanens* sont ceux dans lesquels une grande guantité de la matière de la chaleur est dans l'état de liberté. Ceux-ci ne peuvent conserver leur état de fluides élastiques, qu'autant qu'ils sont peu comprimés, ou qu'ils se trouvent à une température élevée, et plus ou moins élevée, suivant leur nature et leur densité : c'est ce qui les a fait appeler *non-permanens*. Telles sont toutes les vapeurs. L'éther, par exemple, devient fluide élastique à une élévation de 2729 mètres (environ 1400 toises) au-dessus du niveau de la mer, par la grande diminution de la pression qu'il éprouvoit dans le bas. Mais s'il est exposé à toute la pression de l'atmosphère, il lui faut, pour devenir fluide élastique, 38 à 39 degrés de chaleur. L'esprit-de-vin, en pareil cas, en exige 67 à 68 : l'eau en demande 80. Mais cette même eau deviendroit fluide élastique à toutes sortes de températures, si l'on supprimoit de dessus sa surface la pression de l'atmosphère. Voilà pourquoi elle paroît bouillir dans le vide (1148).

Il ne sera question ici que des fluides élastiques permanens : nous parlerons des autres, en traitant de la nature de l'eau et de ses effets.

590. Les fluides élastiques permanens sont tous compressibles, élastiques, transparens, sans couleur (*a*), invisibles et incondensables en liqueur par

(*a*) Il faut en excepter le gas muriatique oxigéné (717), qui est d'un jaune verdâtre.

le froid. Les uns existent dans la nature sans le secours de l'art, quoiqu'on puisse se les procurer aussi par ce moyen; les autres ne sont que le produit de l'art. Les uns sont solubles dans l'eau, les autres y sont tout-à fait insolubles; de sorte que, pour se les procurer, il faudra faire usage de moyens différens, suivant la nature du fluide qu'on désirera obtenir, comme nous le dirons ci-après.

591. Nous divisons ces fluides en deux classes.

La première classe comprend ceux qui sont *vivifians*, c'est-à-dire, ceux qui servent, et qui sont essentiels à la respiration des hommes et des animaux, et à la combustion des corps. Tels sont l'*air atmosphérique*, et l'*air pur* ou *vital*, appelé *gas oxigène*.

592. La seconde classe comprend ceux qui sont *suffoquans*, c'est à-dire, ceux qui ne peuvent servir ni à la respiration des animaux, ni à la combustion des corps. Tels sont tous les autres *gas*.

593. Tous ces gas ont, comme nous l'avons déjà dit (587), toutes les apparences de l'air : ils en ont même plusieurs propriétés, telles que la transparence, l'invisibilité, la compressibilité, l'expansibilité, et l'élasticité. C'est sans doute la raison pour laquelle *Hales*, *Boyle*, *Priestley*, et plusieurs autres physiciens, ont donné à tous ces fluides le nom d'*air*. Mais, comme ils diffèrent beaucoup de ce dernier par un grand nombre d'autres propriétés, et sur-tout en ce qu'ils sont absolument incapables d'entretenir la vie des animaux et la combustion des corps, on a pensé avec raison qu'il falloit ne les pas confondre avec l'air; et, pour les désigner, on a adopté le nom

de *gas* (*a*), que *Vanhelmont* et d'autres chimistes antérieurs à *Hales* avoient donné à ceux de ces fluides qui étoient connus de leur temps : car la connoissance générale des *gas* est très-ancienne. Elle est antérieure à *Paracelse*. Les chimistes de ces temps-là, sans en distinguer les espèces, les désignèrent en général sous le nom de *spiritus sylvestris*, *esprit sauvage*. *Vanhelmont* substitua le nom de *gas* à celui d'esprit, et conserva l'épithète *sylvestris*. *Boyle*, *Hales*, et plusieurs autres qui l'ont suivi, leur ont donné le nom d'*air*. Quoique ces Physiciens eussent observé différentes propriétés de ces fluides, ils les ont cependant tous regardés comme le même, mais plus ou moins vicié par des matières hétérogènes. La distinction de leurs différentes espèces, et la connoissance de plusieurs de leurs propriétés, sont dues sur-tout à *Priesley*, qui a fait sur ces *gas* un très-grand nombre de belles expériences, et avec un appareil très-simple de son invention, que l'on a appelé *appareil pneumato-chimique*, et qui a été adopté, avec raison, par tous les physiciens qui ont travaillé depuis sur cette matière. *Priestley* a donné la description de cet appareil, les manipulations et les résultats de ces expériences, dans un ouvrage en trois volumes, traduit de l'anglais, par *Gibelin*, et intitulé : *Expériences et Observations sur différentes espèces d'air*. Je pense que le lecteur sera bien aise de trouver ici la description de cet appareil, ainsi que celle des instrumens dont on fait usage pour recueillir ces substances aériformes, les mesurer, les mêler, les combiner les unes avec les

(*a*) Mot emprunté des Hébreux, chez lesquels il signifie l'*impureté* qui se sépare d'un corps.

autres, ou avec d'autres substances; et enfin pour faire les expériences qui tendent à faire connoître les différentes propriétés de ces fluides. Nous avons dit ci-dessus (590), que, parmi ces fluides, les uns sont insolubles dans l'eau, et les autres y sont solubles. Il faut donc, pour les extraire, deux appareils; l'un à l'eau, pour ceux qui y sont insolubles, et l'autre au mercure, pour ceux qui ne pourroient être reçus sous l'eau.

594. L'appareil à l'eau consiste en une cuvette de bois ABCD (*fig.* 112), doublée de plomb, de 487 millimètres (environ 18 pouces) de largeur, d'autant de profondeur, et de 1 mètre (environ 36 pouces) de longueur. A l'un de ses petits côtés AB, en dedans, et à environ 40 millimètres (18 lignes) de son bord supérieur, est placée, entre deux tasseaux, une planche épaisse EF, percée de deux trous ronds, *a*, *b*, de 10 millimètres (4 ou 5 lignes) de diamètre, et évasés par-dessous en forme d'entonnoir, et de plusieurs oblongs *c*, *d*, dont nous verrons l'usage ci-après. Cette cuvette est portée sur quatre pieds G, H, I, K, qui se montent à vis, et qui servent à la mettre à une hauteur commode pour le physicien qui en fait usage. Tout cela ainsi ajusté, on remplit la cuvette d'eau claire, de manière qu'il y en ait 25 millimètres (10 ou 12 lignes) au-dessus du plan supérieur de la planche EF.

595. Tout cela ainsi disposé, on est en état d'exatraire des gas des subtances qui peuvent les fournir. Pour cela, il faut avoir plusieurs cloches de verre (*fig.* 113) plus longues que larges. Il est bon qu'elles n'aient que 1 décimètre (3 à 4 pouces) de diamètre, pour pouvoir les manier plus commodément; et il

faut qu'elles n'aient qu'une hauteur telle qu'on puisse les retourner facilement dans la cuvette. Ce sont là les vases dans lesquels on recevra les gas. Supposons qu'on veuille se procurer celui qui se dégage par l'effervescence d'un carbonate alkalin ou calcaire avec les acides; on commence par remplir d'eau en entier, dans la cuvette même, la cloche (*fig.* 113); et après l'avoir retournée l'ouverture en en bas, ou la glisse sur la planche E F (*fig.* 112), ayant soin que son ouverture ne sorte pas de l'eau, et on la place sur un des trous *c* ou *d*. Ce vase reste ainsi entièrement plein d'eau, laquelle y demeure suspendue par la pression de l'atmosphère sur l'eau de la cuvette. Après quoi l'on met du carbonate alkalin ou calcaire dans un flacon A (*fig.* 114), dans le goulot duquel est engagé un tuyau de verre recourbé B C D, et qui a sur son épaulement un trou rond, ou un second goulot, dans lequel est placée la tige d'un entonnoir E, bouchée avec un petit tuyau de verre F, garni de cire molle par le bout inférieur. On met dans cet entonnoir de l'acide, qui doit être fort affoibli avec de l'eau, afin d'éviter une effervescence trop prompte et trop violente. On laisse tomber une portion de cet acide sur le carbonate, en soulevant pour un instant le petit tuyau de verre F : on laisse échapper les premières vapeurs, pour chasser l'air qui est dans le flacon; et lorsqu'on juge qu'il est entièrement sorti, on engage le bout D du tuyau recourbé sous le trou *c* ou *d* de la planche F E (*fig.* 112), sur lequel est placée la cloche (*fig.* 113), et l'on soutient le flacon sur un guéridon, ou une table, ou autrement. Alors la dissolution et l'effervescence continuant à se faire, le gas qui s'en dégage s'échappe avec rapidité par le tuyau re-

courbé BCD (*fig.* 114); et, par sa légèreté respective, traverse l'eau sous la forme de bulles d'air, va se placer à la partie supérieure de la cloche, et, en vertu de son élasticité, fait baisser l'eau dans la cloche, à mesure qu'il s'y introduit. Pour continuer l'opération, on débouche de temps en temps la tige de l'entonnoir E, pour faire passer de nouvel acide dans le flacon, sans cependant y laisser rentrer de l'air, et faire par-là continuer l'effervescence et le dégagement du gas. On peut de cette manière extraire la quantité de gas que l'on desire se procurer.

Tous les gas qui s'extrayent des différentes substances, métalliques ou autres, par le moyen des acides, se recueillent par le même procédé.

596. A l'égard des gas qui sont très-solubles dans l'eau, tels que les gas acides ou alkalins, et qui ne sont que la substance elle-même qui les fournit, combinée avec la matière de la chaleur, on ne peut pas les recevoir dans l'eau comme les autres; ils se combineroient sur le champ avec elle, et redeviendroient, par cette combinaison, la substance même dont on les auroit tirés. Pour ceux-ci il faut l'appareil au mercure. Cet appareil est construit sur les mêmes principes que l'appareil à l'eau, avec cette différence, qu'à cause du grand prix et du poids excessif du mercure, on le fait beaucoup plus petit. Sa cuvette ne doit point être de métal, ni doublée de métal; mais de faïence, ou de porcelaine, ou de marbre, ou de pièces de bois dur et compacte, solidement et parfaitement assemblées. Les vases dans lesquels on met les substances dont on tire ces gas, sont ordinairement de petites cornues de verre OM (*fig.* 115), au bout du col M desquelles est luté un tube de verre

recourbé M N. On fait chauffer la cornue sur un petit réchaud ou par le moyen de la flamme d'une bougie, et l'on engage le bout N du tube sous la petite cloche remplie de mercure, après avoir laissé échapper tout l'air qui étoit dans la cornue. Par ce petit degré de chaleur, la substance que l'on a mise en expérience, prend la forme gaseuse et aérienne, et passe ainsi sous la cloche, en faisant baisser le mercure qui la remplit.

597. Si l'on veut extraire plusieurs espèces de gas en même temps, on le peut faire avec les mêmes appareils. C'est pour cela qu'on pratique à la planche E F (*fig.* 112) plusieurs trous oblongs *c*, *d*, destinés à introduire le bout D du tube recourbé de la *fig.* 114, sur lequel on place une cloche pleine d'eau ou de mercure. Dans ce cas-là il faut avoir soin, pour éviter la confusion, de coller, sur chaque cloche, une étiquette qui indique l'espèce de gas auquel elle est destinée.

598. Un grand nombre de cloches, ainsi remplies de gas et placées sur la planche E F (*fig.* 112), deviendroit embarrassant. On peut s'en debarrasser de la manière suivante, et conserver les gas qu'elles contiennent. On coule sous la liqueur de la cuvette une soucoupe ou une assiette, etc., et lorsqu'elle est submergée, on glisse par-dessus la cloche pleine de gas dont on veut debarrasser la planche, et on enlève ainsi la cloche placée debout sur la soucoupe qui lui sert de support.

599. Si l'on veut faire passer un gas d'un vase dans un autre, on remplit celui-ci de la liqueur de la cuvette, et on le place debout sur la planche E F au-

dessus de l'un des trous *a* ou *b*, comme nous avons dit qu'on le fait pour l'extraction des gas (59.); ensuite on plonge le vase qui contient le gas qu'on veut transvaser, et on l'incline doucement sous le trou de la planche sur lequel est placé le vase plein de liqueur. Alors le gas monte par bulles, et va prendre la place de la liqueur en la faisant baisser. Un peu d'habitude rendra cette manipulation très-facile. On peut, par le même procédé, mettre des gas en bouteilles pour les transporter au loin; mais il faut avoir soin de les bien boucher, avant de faire sortir leur goulot de la liqueur de la cuvette, dont on a laissé une très-petite quantité dans la bouteille, et les tenir ensuite dans une situation à-peu-près verticale, le goulot en en-bas.

600. On peut encore par la même manipulation, mêler ensemble différentes espèces de gas. Pour cela, on remplit de la liqueur de la cuvette un vase (*fig.* 116), et on le place sur le trou *a* ou *b* de la planche E F (*fig.* 112). Ensuite on remplit, par le procédé décrit ci-dessus (599), successivement des différentes espèces de gas que l'on veut mêler, la petite mesure (*fig.* 117), et on la fait passer sous le vase dans lequel on veut faire le mélange, en l'inclinant doucement sous le trou de la planche sur laquelle ce vase est placé. De cette façon, la mesure de gas passe dans ce vase, et en va occuper la partie supérieure. On en met de chaque espèce autant de mesures que l'on veut, et l'on fait ainsi le mélange dans des proportions connues.

601. Par tous les procédés que nous venons de décrire, on peut, comme l'on voit, d'une manière simple et commode, recueillir, conserver, transva-

ser, transporter, mélanger les différentes espèces de gas.

602. Nous avons dit ci-dessus (592), que les gas ou fluides suffoquans, composent la seconde classe des fluides élastiques.

Nous les divisons en trois ordres. Le premier comprend ceux qui ne sont point salins, c'est-à-dire, qui ne sont ni acides ni alkalins : le second, ceux qui sont salins, c'est-à-dire, ou acides ou alkalins : le troisième, ceux qui sont inflammables, et qu'on appelle *hydrogènes*.

603. *Ordre premier.* Les gas non salins sont au nombre de trois ; savoir : le *gas azotique*, ou atmosphérique, qu'on appelle aussi *mofette ;* le *gas nitreux*, et le *gas muriatique oxigéné*.

604. *Ordre second.* Les gas salins sont au nombre de cinq ; savoir : le *gas acide carbonique*, le *gas acide muriatique*, le *gas acide sulfurique*, le *gas acide fluorique*, et le *gas ammoniacal*, ou alkalin.

605. *Ordre troisième.* Les gas inflammables ou hydrogènes sont tous de la même espèce, mais il y en a plusieurs variétés. On a donc le *gas hydrogène pur*, dont les variétés sont, le *gas hydrogène sulfuré*, le *gas hydrogène phosphoré*, le *gas hydrogène carboné*, le *gas hydrogène carbonique*, et le *gas hydrogène des marais*.

606. *Table méthodique des Fluides élastiques.*

Fluides élastiques.

Vivifians. . . . . . . Classe I.

- Air atmosphérique. . . . . 1.
- Air pur ou vital, dit *gas oxigène*. . . . . 2.

Suffoquans. . . . . . Classe II.

Non-salins. . . . . *Ordre* 1.

- Gas azotique. . . . . 3.
- Gas nitreux. . . . . 4.
- Gas muriatique oxigéné. . . . . 5.

Salins. . . . . *Ordre* 2.

- Gas acide carbonique. . . . . . 6.
- Gas acide muriatique. . . . . . 7.
- Gas acide sulfureux. . . . . . 8.
- Gas acide fluorique. . . . . . . 9.
- Gas ammoniacal. . . . . 10.

Inflammables ou hydrogènes. . *Ordre* 3.

- Gas hydrogène pur. . . . . . 11.
- Gas hydrogène sulfuré. . . . . 12.
- Gas hydrogène phosphoré. . . 13.
- Gas hydrogène carboné. . . . 14.
- Gas hydrogène carbonique. . 15.
- Gas hydrogène des marais. . . 16.

607. Comme nous allons nous servir ici d'une langue nouvelle, il est bon d'en prendre une notion préliminaire, en jetant un coup-d'œil sur les synonymies anciennes et nouvelles, placées ci-devant, *tome I.*

608. Tous les fluides élastiques sont composés d'une base, soit simple, soit elle-même composée,

combinée avec la matière de la chaleur, que, pour abréger, l'on appelle le *calorique*. Ces fluides ne sont point contenus en entier dans les substances dont on fait usage pour les extraire; il n'y a que leurs bases qui y soient contenues, lesquelles, dans le temps de l'extraction, se combinent avec le calorique, et prennent par-là la forme de fluides élastiques.

Bases des Fluides élastiques.

609. 1. L'air atmosphérique est composé de deux fluides élastiques, simplement mêlés ensemble, dont l'un est l'air pur ou vital, appelé *gas oxigène*, et l'autre une mofette appelée *gas azotique* ou atmosphérique; 28 parties du premier, et 72 de l'autre. Ainsi sa base est composée de l'*oxigène* et de l'*azote*.

610. 2. La base de l'air pur, ou gas oxigène, est le principe acidifiant, sans lequel il n'y a point d'acide, et que l'on appelle, pour cette raison, *oxigène*, c'est-à-dire, *générateur des acides*.

611. 3. La base du gas azotique est, lorsque ce gas est seul, un être incapable d'entretenir la vie des animaux; c'est pourquoi on lui a donné le nom d'*azote*, c'est-à-dire, privatif de la vie. Il est vrai que ce nom convient aussi à tous les fluides suffoquans; mais comme celui-ci est le plus commun, qu'il nous environne continuellement (et l'on verra par la suite (676) qu'il ne nous est pas inutile), on lui a donné ce nom plutôt qu'aux autres.

612. 4. La base du gas nitreux est ce même *azote*, combiné avec un peu d'*oxigène*.

613. 5. La base du gas muriatique oxigéné est l'*acide muriatique*, surchargé d'*oxigène* et déflegmé.

614.

614. 6. La base du gas acide carbonique est l'*oxigène* qui tient du *carbone* en dissolution, lequel carbone est du charbon dans son etat de pureté.

615. 7. La base du gas acide muriatique est l'*acide muriatique*, privé de l'eau surabondante à son essence.

616. 8. La base du gas acide sulfureux est l'*acide sulfurique*, connu sous le nom d'acide vitriolique, mais qui a perdu une partie de son *oxigène*, ou qui est surchargé de *soufre*, qui, par-là, est devenu acide sulfureux, et qui est privé de l'eau surabontante à son essence.

617. 9. La base du gas acidé fluorique, connu sous le nom de gas acide spathique, est l'*acide fluorique*, privé de l'eau surabondante à son essence.

618. 10. La base du gas ammoniacal est l'*ammoniaque*, ou alkali volatil caustique, privé de l'eau surabondante à son essence.

619. Ces quatre derniers gas sont des acides ou des akalis aussi concentrés qu'ils puissent l'être, puisqu'ils sont privés de toute leur eau surabondante.

620. 11. La base du gas hydrogène pur est une substance inconnue, à laquelle on a donné le nom d'*hydrogène*, c'est-à-dire, *générateur de l'eau.*

621. 12. La base du gas hydrogène sulfuré, connu sous le nom de gas hépatique, est l'*hydrogène* qui tient du *soufre* en dissolution.

622. 15. La base du gas hydrogène phosphoré est l'*hydrogène* qui tient du *phosphore* en dissolution.

623. 14. La base du gas hydrogène carbonné est l'*hydrogène* qui tient du *carbone* en dissolution.

624. 15. La base du gas hydrogène carbonique est l'*hydrogène* mêlé en différentes proportions avec la base du gas acide carbonique, c'est-à-dire, avec l'*oxigène* tenant du *carbone* en dissolution.

625. 16. La base du gas hydrogène des marais est l'*hydrogène* mêlé en différentes proportions avec la base du gas *azotique*, c'est-à-dire, avec l'*azote*.

Composition des Acides, etc.

626. Tous les acides sont composés d'une base combinée avec l'oxigène; le tout dissous dans l'eau.

627. L'acide carbonique est composé d'*oxigène* combiné avec du *carbone* et de l'eau.

628. L'acide sulfurique est composé d'*oxigène* combiné avec du *soufre* et de l'eau.

629. L'acide sulfureux est le même que l'acide sulfurique; mais il tient moins d'*oxigène* ou plus de *soufre*.

630. L'acide fluorique est composé d'*oxigène* combiné avec une base jusqu'à présent inconnue et de l'eau.

631. L'acide muriatique est composé d'*oxigène* combiné avec une base encore inconnue et de l'eau.

632. On ne peut pas connoître ces bases, parce qu'on ne peut pas les séparer de l'oxigène sans les fixer dans une autre substance.

633. L'acide muriatique oxigéné est de l'acide muriatique surchargé d'*oxigène*, et qui paroît avoir perdu par-là la plus grande partie de son acidité.

634. L'acide nitrique est composé d'*oxigène* combiné jusqu'à saturation, avec la base du gas nitreux, qui est de l'*azote* déjà combiné avec un peu d'*oxigène* et de l'eau.

635. L'acide nitreux est le même qne l'acide nitrique; mais il tient moins d'*oxigène* ou plus d'*azote*.

636. L'acide nitro-muriatique, dit *eau régale*, est composé de l'*acide nitrique* et de l'*acide muriatique*. Ni l'un ni l'autre de ces acides ne peut dissoudre l'or; mais, par leur mélange, il se forme un nouveau composé, qui est le dissolvant de l'or. L'acide muriatique, dont la base a une très-grande affinité avec l'oxigène, se combine donc avec celui de l'acide nitrique, et devient l'acide muriatique surchargé d'oxigène propre à dissoudre l'or, le platine, etc.

637. L'acide phosphorique est composé d'*oxigène* combiné avec du *phosphore* et de l'eau.

638. L'acide phosphoreux est le même que l'acide phosphorique; mais il tient moins d'*oxigène* ou plus de *phosphore*.

639. L'ammoniaque est composé d'une partie d'*hydrogène*, de six parties d'*azote* et d'eau.

640. L'eau est composée de 85 parties d'*oxigène* et de 15 parties d'*hydrogène*, mesurant par le poids.

641. La connoissance des parties constituantes de toutes ces liqueurs nous mettra en état de mieux entendre ce qui arrive dans leur combinaison avec d'autres substances.

Passons maintenant à l'examen de la nature et des propriétés des fluides élastiques.

CLASSE I.

Fluides élastiques vivifians.

642. Ces fluides sont ceux qui, non-seulement servent, mais qui sont essentiels à la respiration des hommes et des animaux, et à la combustion des corps. Tels sont l'air atmosphérique et l'air pur ou vital, ou gas oxigène.

1. *Air atmosphérique.*

643. L'air de l'atmosphère a été long temps regardé comme un *élément*, comme un être dont toutes les parties, semblables entr'elles, étoient simples et indécomposables. Aujourd'hui on a des preuves certaines que l'air atmosphérique est un composé de au moins deux fluides élastiques très-différens (609); savoir, de l'air pur ou vital, fluide absolument essentiel à la respiration des animaux et à la combustion des corps, et d'une mofette appelée *gas azotique*, fluide dans lequel les corps embrasés sont éteints sur le champ, et les animaux promptement suffoqués. Le premier de ces fluides est détruit ou absorbé par la combustion d'un corps quelconque; le second résiste à cette épreuve, comme le prouve l'expérience suivante.

644. Expérience. Sur la planche EF (*fig.* 112) de l'appareil pneumato-chimique, mettez une cloche de verre (*fig.* 113) pleine d'air atmosphérique, qui couvre une bougie allumée, flottante sur une petite rondelle de bois. Dans le premier instant, une petite partie de l'air, raréfié par la chaleur, sortira par le dessous de la cloche; ensuite l'activité de la flamme

de la bougie ira toujours en diminuant, jusqu'à ce qu'enfin la bougie s'éteigne, pendant lequel temps l'eau de la cuvette montera dans la cloche.

645. Lorsque le tout sera refroidi, et revenu à la température qui existoit avant de commencer l'expérience, vous trouverez environ le quart de la capacité de la cloche rempli d'eau. Cette eau a pris la place du fluide absorbé : ce qui reste n'est plus qu'une mofette capable de suffoquer les animaux et d'éteindre les corps embrasés. En effet, dans l'air bien constitué, sur 100 parties en volumes, il y en a 28 d'air vital et 72 de mofette ou gas azotique. La mofette qui demeure sous la cloche n'est pas pure : dans ce cas-là, elle se trouve mêlée avec un autre fluide élastique, dont nous parlerons ci-après (735), qui est le gas acide carbonique, qui est toujours produit par tous les corps qui brûlent. Mais comme ce gas est soluble dans l'eau, et que la mofette ne l'est pas, il est aisé de se procurer la mofette pure, en l'agitant fortement dans cette liqueur. On peut plus sûrement absorber le gas acide carbonique par l'eau de chaux, comme nous le prouverons ci après (753).

646. L'air atmosphérique n'est donc pas un être dont toutes les parties sont homogènes, puisque les unes sont absorbées par la combustion d'un corps, et que les autres sont inaltérables par cette épreuve. Il n'y a donc dans l'air atmosphérique qu'environ un quart qui soit propre à la respiration et à la combustion, tandis que les trois autres quarts ne le sont pas.

Examinons maintenant séparément les deux fluides qui composent l'air atmosphérique.

2. *Air pur ou vital, appelé* Gas oxigène.

647. L'air pur ou vital est composé d'une base appelée *oxigène*, combinée avec une grande quantité de la matière de la chaleur ou de calorique (610). Cette base a été appelée *oxigène*, c'est-à dire, *générateur des acides*, parce que cette base est le vrai principe acidifiant, le principe sans lequel il n'y a point d'acide.

C'est ce fluide que Priestley et plusieurs autres, après lui, ont si mal-à-propos appelé *air déphlogistiqué*.

648. On peut le retirer, par la chaleur, de beaucoup de substances; mais sur-tout de l'oxide natif de manganèse, et des oxides métalliques qu'on peut revivifier sans addition de matière inflammable, tels que les oxides de mercure. Le précipité *per se*, qui est un oxide de mercure, et le précipité rouge, ou le mercure calciné par l'acide nitrique, en fournissent une grande quantité, comme on peut s'en assurer par l'expérience suivante.

649. Expérience. Dans un petit matras A B (*fig.* 118), au col duquel vous adapterez un tube recourbé CD, mettez une once d'oxide de mercure rouge par le feu : faites-le chauffer sur un réchaud R; et après que tout l'air atmosphérique, qui remplit le matras, en sera sorti, engagez l'extrémité D du tube recourbé sous une cloche (*fig.* 113) remplie de la liqueur de la cuvette (*fig.* 112), et placée sur la planche EF, au-dessus du trou oblong *c* ou *d*.

650. A mesure que le mercure se révivifiera et redeviendra coulant, vous verrez se dégager et passer

dans la cloche un fluide compressible, élastique, transparent, sans couleur et invisible, qui est l'air le plus pur et le plus respirable qu'on puisse se procurer, en un mot, l'air pur ou vital, ou gas oxigène.

651. On l'obtiendra, par le même procédé, de l'oxide natif de manganèse, ou du minimum, qui est un oxide de plomb, arrosé d'acide nitrique. Dans ce dernier cas, c'est cet acide qui fournit la plus grande partie de l'oxigène.

652. Pour bien entendre ces effets, il faut savoir que ce fluide n'est point contenu en entier dans ces corps : il n'y en a que la base, qui est l'oxigène. Car les métaux ne se calcinent ou ne brûlent qu'en se combinant avec l'oxigène, qui y devient solide, et leur ajoute son poids. Cet oxigène est ensuite chassé par la chaleur, qui, en se combinant avec lui, le fait passer à l'état de fluide élastique ; et voilà l'air pur. Pendant ce temps là, le métal, perdant l'oxigène qui l'avoit réduit à l'état d'oxide, reprend son éclat métallique, et perd le poids qu'il avoit acquis en devenant oxide.

653. Toutes les combustions ne sont donc qu'une combinaison de l'oxigène avec le corps combustible : ce n'est donc point le corps combustible qui est décomposé, c'est l'air pur. Ainsi on pourroit dire que, dans toutes les combustions, il n'y a que l'air pur de brûlé.

654. L'air pur émane aussi des plantes vertes exposées au soleil avec de l'eau, et non des fleurs ni des racines, comme l'a prouvé *Inghen-Houze.* Dans cette opération, les feuilles des végétaux décomposent l'eau (817), en absorbant l'hydrogène, l'une de ses

parties constituantes, et en laissant dégager, dans l'état d'air pur, l'oxigène, autre partie constituante de cette liqueur. La lumière contribue sans doute à cette décomposition, puisqu'elle n'a pas lieu sans son contact, comme l'a encore prouvé *Inghen-Houze.*

655. Souvent l'air pur, qu'on obtient de différentes substances, est mêlé d'un peu de mofette : il n'y a que celui qu'on retire de l'oxide de mercure rouge par le feu, de l'oxide natif de manganèse et des plantes vertes, qui en soit exempt.

656. L'air pur est un peu plus pesant que l'air atmosphérique : sa pesanteur spécifique est à celle de l'air, comme 108,35 est à 100,00 : et à celle de l'eau distillée, comme 13,5929 est à 10000,0000. De sorte que le décimètre cube de ce fluide pèse 1 gramme 350 milligrammes (gr. 25,228); et le mètre cube, 1 kiliogramme 359 grammes 980 milligrammes (2 livres 11 onces 6 gros 28 grains) : *en mesures et poids anciens*, le pouce cube de ce fluide pèse ½ grain (m.gm. 26,557); et le pied cube, 1 once 4 gros (45 grammes 891 milligrammes). L'air atmosphérique pèse moins que cela : sa pesanteur spécifique, comparée à celle de l'eau distillée, est comme 12,3609 est à 10000,0000. De sorte que le décimètre cube de cet air ne pèse que 1 gramme 253 milligrammes (gr. 23,216) et le mètre cube, 1 kiliogramme 253 grammes 115 milligrammes (2 livres 8 onces 2 gros 32 grains) : *en mesures et poids anciens*, le pouce cube de cet air ne pèse que 0,4601 de grain (m.gm. 24,438); et le pied cube, 1 once 3 gros 3 grains (42 grammes 226 milligrammes).

657. L'air pur ne donne aucun signe d'acidité, quoiqu'il soit le générateur de tous les acides, le principe sans lequel il n'y a point d'acide; car il ne rougit point les couleurs bleues des végétaux, comme le font tous les acides.

658. Expérience. Que l'on mette un peu de teinture de tournesol, délayée d'eau, dans un tube plein d'air pur, la couleur n'en sera pas changée.

659. L'air pur seul n'est point absorbé par l'eau; il n'y est point du tout soluble. Mais il est absorbé presque en entier par le gas nitreux, avec lequel il se combine, comme nous le verrons en traitant du gas nitreux (691) : et cette combinaison est soluble dans l'eau, et forme l'acide nitreux. Car cet acide est composé de la base du gas nitreux, combinée avec l'oxigène, le tout dissous dans l'eau (655).

660. L'air pur sert éminemment à la respiration : les animaux y vivent bien plus long-temps qu'ils ne feroient dans une même quantité d'air atmosphérique.

661. Expérience. Si l'on renferme un animal dans un grand vase plein d'air pur, il y vivra environ quatre fois aussi long-tems qu'il y auroit vécu, si ce vase eût été plein d'air atmosphérique; parce que l'animal trouve dans ce vase environ quatre fois autant de fluide propre à la respiration, qu'il y en auroit trouvé, si le vase eût été rempli d'air atmosphérique.

662. L'air pur est donc le seul fluide propre à l'entretien de la vie des animaux (*a*). En voici la

(*a*) Par un terme moyen, un homme use un pied cube ($34\frac{1}{4}$ décimètres cubes) d'air par heure. Il en use moins quand il est à jeun : il

raison. Il faut beaucoup de calorique pour l'entretien de la vie : l'air pur est le seul qui en puisse fournir ; 1°. parce qu'il en contient beaucoup plus que les autres fluides élastiques ; 2°. parce que sa base a une grande affinité avec le carbone et l'hydrogène, que n'ont pas les bases des autres gas. Or il se dégage du sang dans les poumons une certaine quantité d'hydrogène carboné. L'air pur respiré se combine donc avec ces deux substances, l'hydrogène et le carbone. Une partie de cet air, en se combinant avec le carbone, forme, en abandonnant une partie de son calorique, du gas acide carbonique : (ceci peut être regardé comme une vraie combustion du carbone). Une autre partie de l'air pur se combine avec l'hydrogène, et forme de l'eau, en abandonnant tout son calorique. Ce sont ces deux portions de calorique abandonné qui entretiennent la chaleur animale et la vie. Voici les preuves de tout cela.

On observe que le gas acide carbonique, formé pendant la respiration, n'est qu'environ les quatre cinquièmes du volume de l'air pur consommé : donc une portion de cet air, qui entre dans les poumons, n'en sort pas dans l'etat élastique ; c'est la base de cette portion qui, en se combinant avec l'hydrogène, forme de l'eau. Cet hydrogène abandonne donc le carbone qui, en se combinant avec l'air pur, forme le gas acide carbonique expiré.

On sait que le sang, lorsqu'il passe dans les veines capillaires, prend une couleur livide et foncée. Cette couleur vient de ce qu'il s'y charge d'hydrogène carboné. Car, si l'on met du sang artériel en contact

en use plus quand il a mangé ; encore plus quand il travaille, et d'autant plus qu'il travaille davantage.

avec du gas hydrogène, il absorbe ce fluide, et prend la couleur livide et foncée du sang veineux, occasionnée sans doute par le carbone.

On sait aussi que, lorque le sang traverse les poumons, il devient d'un beau rouge vermeil. Cela vient de ce qu'il s'y défait d'une partie de son hydrogène carboné : car, si l'on met du sang veineux en contact avec de l'air pur, il le convertit, en partie, en gas acide carbonique, et acquiert la couleur vermeille. Ces effets ont lieu, quoiqu'on interpose une vessie mince entre le sang et le gas. Cela peut donc avoir lieu de même dans les poumons, au travers des vaisseaux sanguins.

Donc, 1°. le sang artériel éprouve, dans les veines, ce changement de couleur, en se combinant avec une nouvelle quantité d'hydrogène carboné 2°. Le sang veineux, en passant dans les poumons, reprend la couleur vermeille; parce qu'il cède à l'air pur une portion de son hydrogène carboné. Et comme le gas hydrogène, retiré des matières animales, tient du carbone en dissolution, il en résulte que, pendant la respiration, l'air pur se combine avec l'hydrogène carboné, dégagé du sang ; et *forme du gas acide carbonique avec le carbone*, et *de l'eau avec l'hydrogène.*

Nous venons de dire, ci-dessus, que la chaleur animale résulte du calorique abandonné, dans ces deux cas, par l'air pur. Ce qui le prouve bien, c'est, 1°. qu'il n'y a d'animaux chauds, que ceux qui respirent l'air habituellement : que ceux dont les poumons sont plus considérables relativement à leur volume, ont aussi une plus haute température.

Dans l'acte de la respiration, l'air pur remplit donc quatre fonctions. 1°. *Il fournit du calorique*, qui

répare la perte de chaleur que nous éprouvons continuellement de la part de l'atmosphère et des corps environnans. 2°. *Il fournit de l'eau*, qui humecte le sang. 3°. *Il enlève du carbone*, dont l'abondance pourroit être nuisible. 4°. *Il procure au sang artériel la couleur vermeille*, en lui enlevant une partie de son hydrogène carboné.

663. Mais puisque dans la respiration il se dégage de l'air pur une très-grande quantité de calorique, il paroît que ce fluide seroit nuisible aux animaux qui le respireroient seul pendant un certain temps, en raréfiant trop leur sang, et en augmentant la rapidité de sa circulation ; ce qui pourroit leur donner une fièvre ardente, et occasionner une inflammation aux poumons.

664. L'air pur est le seul fluide élastique dans lequel les corps puissent brûler ; car, dans l'air atmosphérique, dans lequel les corps brûlent aussi, il n'y a que l'air pur qui s'y trouve, qui soit propre à la combustion, parce que la combustion n'est qu'une combinaison de l'oxigène avec le corps combustible (653). Mais lorsque l'air pur est dégagé de tout autre fluide, la combustion s'y fait avec beaucoup de chaleur et de lumière. Ces deux phénomènes sont dûs à la séparation rapide de la matière de la chaleur ou calorique qui prend l'état de liberté, en quittant la base de cet air, à mesure que cette base (l'oxigène) se fixe dans le corps qui brûle.

665. Expérience. Plongez une bougie allumée dans un vase plein d'air pur. La flamme de cette bougie y devient plus grande, plus vive, plus ardente, plus lumineuse ; mais la combustion de la bougie en est trois ou quatre fois plus rapide.

666. Expérience. Plongez, dans un vase plein d'air pur, un morceau de bois, dont une petite partie soit en charbon allumé. Ce bois s'enflamme sur-le-champ, et brûle avec une rapidité incroyable.

667. Expérience. Au bouchon d'une bouteille fixez un petit fil de fer fin, roulé en spirale, qui porte à son extrémité un petit morceau d'amadou: remplissez cette bouteille d'air pur; plongez-y le fil de fer après avoir allumé l'amadou. Le fil de fer, allumé par l'amadou, fond et brûle très-rapidement, en jetant des étincelles semblables aux aigrettes d'artifice (*a*).

668. Si l'on souffle le feu avec l'air pur, on en augmente considérablement l'activité, comme cela a été prouvé par *Priestley* et *Lavoisier.* Ce dernier a, par ce procedé, fait fondre, en moins d'une demi-minute, le platine en bain parfait, ce qu'on n'a pas encore pu faire jusqu'ici avec les verres ardens les plus forts.

669. L'air pur est donc composé d'oxigène combiné avec une grande quantité de calorique; et de plus, suivant quelques-uns, avec la lumière. Dans la respiration, l'air pur perd une partie de son calorique, qui s'en sépare pour l'entretien de la vie de l'animal (662); et cet air pur, ainsi dépouillé d'une partie de son calorique, devient gas acide carbonique, en se combinant avec le carbone qui se trouve dans le sang et les poumons; car le gas acide carbonique, pour avoir la forme gaseuse, n'a pas besoin d'une aussi grande quantité de calorique qu'en exige l'air

(*a*) *Nota.* Il est bon de faire une échancrure au bouchon, afin qu'il ne ferme pas exactement la bouteille, pour en éviter la rupture.

pur. De sorte que ce que l'animal expire, est du gas azotique (675), mêlé de gas acide carbonique (735).

670. La base de l'air pur ou l'oxigène est une des parties constituantes de l'eau (640). Cette base, combinée avec celle du gas hydrogène ou inflammable, forme de l'eau. Nous verrons ceci clairement prouvé par la suite (825 *et suiv.*)

CLASSE II.

Fluides élastiques suffoquans.

671. Ces fluides sont ceux qui ne peuvent servir ni à la respiration des animaux, ni à la combustion des corps (592). Tels sont tous les gas dont nous allons parler.

ORDRE I.

Gas non-salins.

672. Ce sont ceux qui ne sont ni acides ni alkalins (602).

3. *Gas azotique.*

673. Le gas azotique ou atmosphérique, que *Lavoisier* a désigné sous le nom de *mofette*, est la partie non respirable de l'atmosphère, dont elle forme à-peu-près les trois quarts (645). C'est ce fluide que *Priestley* avoit appelé *air phlogistiqué*, parce qu'il avoit cru qu'il n'étoit que de l'air altéré par le phlogistique dégagé des corps en combustion, ou des matières odorantes, etc. Mais il est bien prouvé maintenant que ce fluide est tout formé dans l'atmosphère, et qu'il reste entier à mesure que l'air pur est absorbé.

674. Le gas azotique est composé d'une base appelée *azote* (611), combinée avec le calorique. On a donné à cette base le nom d'*azote*, c'est-à-dire, privatif de la vie, parce que les animaux ne peuvent vivre dans ce fluide, lorsqu'il est seul.

675. Le gas azotique est le résidu de la respiration des animaux, de la combustion des corps et de la putréfaction, parce que dans tous ces cas l'air pur est absorbé ou detruit. Dans la respiration, une portion du calorique de l'air pur demeure pour l'entretien de la vie; et l'oxigène, en se combinant avec la matière charbonneuse, que les chymistes prétendent se trouver dans le sang et les poumons, et qu'ils appelle *carbone*, devient le gas acide carbonique, que les animaux expirent conjointemeut avec le gas azotique (662). Dans la combustion (653) et la putréfaction (765), l'oxigène se combine en partie avec le corps qui brûle ou qui pourrit; et le reste de cet oxigène se combine avec le carbone que fournissent ces substances : d'où il suit que, dans tous ces cas, le gas azotique est mêlé de gas acide carbonique, comme nous l'avons annoncé ci-dessus (645).

676. Il y a plusieurs moyens de se procurer le gas azotique pur. Le plus usité est le procédé de *Scheele*, qui consiste à exposer du sulfure liquide à une quantité déterminée d'air atmosphérique sous des cloches de verre : le sulfure en absorbe peu à peu l'oxigène; et lorsque l'absorption est complète, le gas azotique demeure pur. On l'obtient aussi, d'après la découverte de *Bertholet*, de l'Académie des Sciences, en traitant la chair musculaire, ou la partie fibreuse du sang bien lavée, avec l'acide nitreux, dans l'appareil pneumato-chymique, parce que la base de ce

gas entre dans la composition des chairs, et sert à les animaliser. Mais il faut que les matières animales soient bien fraiches; car si elles sont altérées, elles fournissent du gas acide carbonique, mêlé au gas azotique.

677. On trouvera encore ce gas pur dans le résidu de l'air qui a servi à l'oxidation des métaux, et de l'air qui a été mêlé en juste proportion avec le gas nitreux; parce que les métaux et le gas nitreux se combinent avec l'oxigène, base de l'air pur : il ne reste après cela que le gas azotique.

678. *Fourcroy*, de l'Académie des Sciences, a découvert que les vessies natatoires des poissons sont pleines de ce gas; et qu'il suffit, pour le recueillir, de crever ces vessies sous des cloches pleines d'eau.

679. Le gas azotique est un peu plus léger que l'air atmosphérique; sa pesanteur spécifique est à celle de l'air, comme 96,31 est à 100,00 : et à celle de l'eau distillée, comme 11,9048 est à 10000,0000; de sorte que le décimètre cube de ce fluide pèse 1 gramme 191 $\frac{1}{4}$ milligrammes (gr. 22,4275); et le mètre cube, 1 kiliogramme 191 grammes 232 milligrammes (2 livres 6 onces 7 gros 35 $\frac{1}{2}$ grains) *en mesures et poids anciens*, le pouce cube de ce fluide pèse 0,4444 de grain (m. gm. 23,604); et le pied cube 1 once 2 gros 48 grains (40 grammes 792 milligrammes). On peut prouver cet excès de légèreté par l'expérience suivante.

680. EXPÉRIENCE. Mettez deux bougies allumées de différentes hauteurs sous une cloche de verre pleine d'air, et de manière que l'air ne puisse pas s'y renouveler

renouveler. A mesure que les bougies useront l'air pur ou vital, elles s'éteindront; mais la plus haute s'éteindra la première : preuve que le gas demeure dans le haut; donc il est plus léger.

681. Le gas azotique, lorsqu'il est pur, n'a aucune odeur ni saveur sensibles.

682. Il n'est point soluble dans l'eau, ou du moins très-peu.

683. Expérience. Dans un long tube de verre (*fig.* 116), divisé en mesures égales par des traits de diamant, mettez 3 ou 4 fois la pleine mesure (*fig.* 117) de ce gas; ensuite agitez fortement ce tube (son ouverture étant en en-bas) dans l'eau de la cuvette (*fig.* 112) : son volume ne sera pas sensiblement diminué.

684. Le gas azotique ne donne aucun signe d'acidité. Il ne rougit point les couleurs bleues des vegétaux.

685. Expérience. Dans un tube plein de ce gas, mettez un peu de teinture de tournesol délayée d'eau : la couleur n'en sera pas changée.

686. Il ne précipite point la chaux dissoute dans l'eau.

687. Expérience. Mettez, dans un tube plein de ce gas, un peu d'eau de chaux : elle demeurera claire et limpide; il n'y aura point de chaux précipitée, ni de craie formée.

688. Le gas azotique éteint subitement les corps embrasés : il tue avec beaucoup de promptitude et d'énergie les animaux qu'on y plonge.

689. Expérience. Dans uu vase plein de ce gas, plongez un animal ou une bougie allumée : l'ani-

mal y sera promptement suffoqué, ou la bougie subitement éteinte.

690. Le gas azotique se rétablit et devient respirable par la végétation de la verdure, parce que ces végétaux fournissent de l'air pur, en absorbant l'hydrogène de l'eau (640 et 817) qui sert à la végétation, et laissant l'oxigène libre. En effet, si avec 72 parties de ce gas on mêle 28 parties d'air pur, on en fera un air semblable à celui de l'atmosphère, et respirable comme lui (645).

L'azote est un des principes les plus abondamment répandus dans la nature. Combiné avec le calorique, il forme le gas azotique, qui demeure constamment tel, ce qui fait environ les trois-quarts du fluide que nous respirons : combiné avec l'hydrogène, il forme l'ammoniaque; avec l'oxigène, il forme ou l'oxide nitreux, ou les acides nitreux ou nitriques, suivant son degré d'oxigénation : combiné avec le carbone, ou le phosphore, ou le soufre, il forme des azotures : car ces trois substances sont susceptibles de se dissoudre dans le gas azotique.

L'azote est aussi un des élémens qui constitue essentiellement les matières animales. Il y est combiné avec le carbone et l'hydrogène, et quelquefois avec le phosphore : le tout est lié par une certaine portion d'oxigène, qui le met à l'état d'oxide, ou même à celui d'acide, suivant le degré d'oxigénation.

La nature des matières animales peut donc varier comme le fait celle des matières végétales, de trois manières : 1°. par le nombre des substances qui entrent dans la combinaison du radical; 2°. par leur proportion; 3°. par le degré d'oxigénation.

Tout nous porte à croire que l'azote est un être simple et élémentaire ; du moins n'a-t-il pas encore été décomposé : et ce motif suffit pour le regarder comme élément.

4. *Gas nitreux.*

691. Le gas nitreux a été découvert par *Hales ;* mais *Priestley* a fait connoître la plupart de ses propriétés. Il n'existe point dans la nature sans le secours de l'art. Il est une des parties constituantes de l'acide nitreux ; ou, pour mieux dire, il est lui-même de l'acide nitreux, mais privé de la plus grande partie de son oxigène, ce qui fait qu'il cesse d'être acide. Il est donc composé de la même base que celle de l'acide nitreux (qui est de l'azote (612), tenant dans l'état de gas peu d'oxigène) et combinée avec le calorique. Dans cet état il n'est point soluble dans l'eau : mais si on lui fournit de l'oxigène, en se combinant avec lui, il devient acide, et très-soluble dans l'eau. Si sur une partie d'azote, il n'y a que 2 parties d'oxigène, ce n'est qu'un oxide nitreux, qui est la base du gas nitreux : s'il y a 3 parties d'oxigène, cela forme l'acide nitreux fumant : enfin, s'il y a 4 parties d'oxigène, il en résulte l'acide nitrique blanc. Ces deux derniers sont très-solubles dans l'eau ; le premier ne l'est point du tout.

692. Il est aisé de se convaincre que la base de l'acide nitreux est de l'azote tenant de l'oxigène, mais non pas jusqu'à sa saturation, qui en feroit de l'acide nitrique. Il est aisé de s'en convaincre, dis-je, et par l'analyse et par la synthèse. 1°. Par l'analyse. On peut décomposer l'acide nitreux, et le réduire d'abord à l'état de gas nitreux en le faisant agir sur un métal,

comme, par exemple, du cuivre, qui lui enlève une grande partie de son oxigène. Après quoi on expose ce gas nitreux sur du sulfure alkalin, qui lui ôte ce lui qui reste d'oxigène; et il ne reste plus que du gas azotique. Donc, etc. 2°. Par la synthèse. *Cavendish* a formé de l'acide nitreux, en exposant à l'action des étincelles électriques un mélange de 7 parties d'air pur et de 3 parties de gas azotique. Donc la base du gas nitreux et de l'azote combiné avec un peu d'oxigène.

693. On dégage donc le gas nitreux de l'acide nitreux que l'on fait agir sur des matières combustibles. Ces matières se combinent avec plus ou moins de son oxigène, tandis que sa base ou l'azote, qui retient une partie de l'oxigène, se combinant avec le calorique, forme le gas nitreux.

694. On extrait donc ce gas de l'acide nitreux par le moyen du fer, du cuivre rouge, du cuivre jaune, de l'étain, de l'argent, du mercure, du bismuth et du nickel; et même de l'acide nitrique, qui est dans l'acide nitro-muriatique, connu sous le nom d'*eau régale*, par le moyen de l'or et de l'antimoine.

695. On l'extrait encore du même acide nitreux par le moyen de l'esprit-de-vin, des éthers, des huiles, des résines, des gommes, des charbons, du sucre, etc.

696. Ses propriétés sont les mêmes, de quelque substance dont on se serve pour l'extraire. Mais c'est par le moyen des métaux qu'on en obtient le plus. Il y en a cependant quelques-uns par le moyen desquels on n'extrait que du gas azotique, parce qu'ils s'em-

parent de tout l'oxigène de l'acide nitreux dont on fait usage.

697. EXPÉRIENCE. Dans un flacon, dont le bouchon est traversé par un tube recourbé (*fig.* 114), mettez du petit fil de cuivre rouge roulé en spirales semblables aux ressorts à boudin : remplissez ensuite ce flacon d'acide nitreux affoibli d'eau; et après l'avoir bien bouché, engagez l'extrémité D du tube recourbé dans le trou oblong *c* ou *d* de la planche E F (*fig.* 112), sur lequel trou vous aurez placé une cloche pleine d'eau.

698. Il s'excitera dans le flacon une fermentation accompagnée de chaleur; et pendant que le cuivre se dissoudra, il passera dans la cloche un fluide aériforme, qui est du gas nitreux.

699. On auroit le même effet avec un autre métal; mais il est bon de remplir le flacon d'acide; car s'il y restoit de l'air, le gas, en se dégageant, se combineroit avec l'air pur; et cette combinaison se dissolvant dans la liqueur (709), occasionneroit un vide qui permettroit à l'eau de la cuvette de passer par le tube recourbé dans le flacon.

700. Le gas nitreux est un peu plus pesant que l'air atmosphérique; sa pesanteur spécifique est à celle de l'air comme 105,55 est à 100,00; et à celle de l'eau distillée comme 13,0179 est à 10000,0000. Le décimètre cube de ce fluide pèse 1 gramme 303 milligrammes (24,525 gr.); et le mètre cube 1 kilogramme 302 grammes 640 milligrammes (2 livres 10 onces 4 gros 45 grains). *En mesures et poids anciens*, le pouce cube de ce fluide pèse 0,4860 de grain (25,814 m.gm.),

et le pied cube 1 once 3 gros 48 grains (44 grammes 616 milligrammes).

701. Le gas nitreux bien pur n'est point du tout soluble dans l'eau, comme on peut s'en assurer en le soumettant à la même épreuve que celle que nous avons indiquée ci-dessus (685).

702. Le gas nitreux ne donne aucun signe d'acidité; car il ne rougit point les couleurs bleues des végétaux, telle que la teinture de tournesol, à moins qu'il ne soit mêlé d'air; car alors il a pris de l'acidite (708).

703. Expérience. Si vous faites passer de cette teinture dans ce gas, la couleur n'en sera pas changée.

704. Le gas nitreux éteint les corps enflammés; mais si l'on y plonge une bougie allumée, il donne à la flamme une couleur verte avant de l'éteindre.

705. Il fait promptement périr les plantes et les animaux qu'on y plonge.

708. Lorsqu'on le mêle à l'air de l'atmosphère, il devient rutilant, et a l'odeur de l'esprit-de-nitre, comme il est aisé de s'en assurer en en répandant un peu dans l'air. Alors il absorbe la partie respirable de l'air : il se combine avec elle, et devient l'acide nitreux.

709. Expérience. Dans le long tube de verre (*fig.* 116), divisé en mesures égales, mettez deux mesures d'air atmosphérique, et ensuite une mesure de gas nitreux. Vous verrez sur-le-champ le mélange devenir rutilant et s'échauffer; et comme cette combinaison, qui est vraiment de l'acide nitreux, est très-soluble dans l'eau, vous verrez l'eau remonter

dans le tube à mesure que le mélange s'y dissoudra : de sorte que de trois mesures il y en aura environ une et demie de dissoute, si l'air est d'une bonne qualité. Ce qui demeure n'est plus que du gas azotique. La chaleur produite en cette occasion est due au calorique de ces fluides, qui prend l'état de liberté.

710. EXPÉRIENCE. Si, au lieu d'air atmosphérique, vous mêlez au gas nitreux de l'air pur; savoir, deux mesures de gas et une mesure d'air pur, le mélange sera presque en entier dissous dans l'eau.

711. On peut donc, par le moyen de ce gas, juger de la salubrité de l'air; car il ne se combine qu'avec l'oxigène ou base de l'air pur, qui est la partie seule respirable de l'atmosphère. On doit donc juger l'air ainsi éprouvé, d'autant plus propre à la respiration, qu'il y en a un plus grand volume d'absorbé. Mais comme le gas nitreux tient plus ou moins d'azote, cette épreuve n'est pas parfaitement exacte.

712. L'eau qui a dissous ce mélange de gas nitreux et d'air pur, est de l'acide nitreux en liqueur, d'autant plus fort qu'il y a moins d'eau. 1°. Elle est acide; car elle rougit les couleurs bleues des végétaux.

713. EXPÉRIENCE. Jetez un peu de cette eau dans la teinture de tournesol déjà délayée d'eau; sur-le-champ la couleur bleue est changée en rouge.

714. 2°. Ce mélange de gas nitreux et d'air pur est un acide nitreux; car il s'unit aux alkalins, et forme avec eux des nitres détonnans.

715. EXPÉRIENCE. Au fond d'une cloche de verre (*fig.* 119) attachez un petit nouet de gaze plein de carbonate ammoniacal concret; posez cette cloche

sur la planche EF (*fig.* 112) de l'appareil pneumato-chimique à l'eau ; que la cloche soit aux deux tiers pleine d'air atmosphérique, et l'autre tiers plein d'eau : faites ensuite passer du gas nitreux dans cette cloche. Le mélange deviendra d'abord rutilant, effet de la combinaison de ce gas avec la partie respirable de l'air. Par cette combinaison, le gas est devenu acide nitreux. Ensuite vous verrez beaucoup de vapeurs blanches qui prouvent la combinaison de cet acide avec le carbonate ammoniacal. Ces vapeurs se condensent ensuite, et cristallisent. Ces cristaux recueillis fuseront sur des charbons ardens; donc c'est du nitre.

716. Ces effets n'auront pas lieu, si vous mettez le carbonate ammoniacal dans le gas nitreux seul, parce qu'il n'est point acide.

5. *Gas muriatique oxigéné.*

717. Le gas muriatique oxigéné, qui est l'acide muriatique déphlogistiqué de *Scheele*, sous la forme gaseuse, est le *gas acide muriatique*, dont nous parlerons ci-après (767), mais surchargé d'oxigène, et déflegmé (613).

718. On l'obtient en faisant chauffer et évaporer de l'acide muriatique, pendant qu'il agit sur une substance qui tient l'oxigène, comme, par exemple, l'oxide natif de manganèse.

719. EXPÉRIENCE. Dans une petite cornue de verre OM (*fig.* 115), mettez 50 ou 60 grammes d'oxide natif de manganèse : versez dessus 100 ou 120 grammes d'acide muriatique ; faites chauffer la cornue sur un petit réchaud ; et lorsque vous jugerez que tout l'air de la cornue sera sorti, vous engagerez

son bec sous une cloche pleine de mercure, ou même d'eau (car quoique ce gas soit soluble dans l'eau, il ne s'y dissout que très-peu, et l'eau en est promptement saturée : alors le gas excédant à la saturation de l'eau, passe à la partie supérieure de la cloche, en faisant baisser l'eau). Il s'excite donc une vive fermentation dans la cornue, pendant laquelle l'acide muriatique passe en gas, mais surchargé d'oxigène, qu'il enlève à l'oxide de manganèse, parce qu'il a avec lui une très-grande affinité.

720. Ce gas est donc composé du gas acide muriatique et d'un excès d'oxigène. C'est cet oxigène en excès qui, quoiqu'il soit le principe acidifiant, lui ôte presque toute son acidité, et le rend moins soluble dans l'eau. Ceci est une chose difficile à expliquer. Nous avons vu (712 *et suiv.*) qu'un excès d'oxigène, ajouté au gas nitreux, y produit un effet contraire : car il lui donne l'acidité qu'il n'avoit pas, et il le rend tout-à-fait soluble dans l'eau. Il seroit difficile de dire d'où viennent ces deux effets opposés ; mais ce sont des faits bien constatés que nous devons adopter, quoique nous en ignorions la cause.

721. La preuve que le gas muriatique oxigéné n'est point acide, ou qu'il l'est du moins très-peu, c'est qu'il ne se combine point ou presque point avec les alkalis, et qu'il n'a pas la force de chasser l'acide carbonique des différentes bases avec lesquelles il est combiné : ce que peuvent cependant faire tous les acides que nous connoissons, quelque foibles qu'il soient.

722. Le gas muriatique oxigéné n'est pas invisible, comme le sont les autres gas ; car il est d'un

jaune verdâtre, qui le fait bien appercevoir. Il a une odeur forte et piquante, et qu'il est dangereux de respirer, parce qu'il excite une toux violente, et pourroit causer une hémorragie.

723. Ce gas éteint les corps enflammés, et fait périr très-promptement les animaux qu'on y plonge.

724. Nous venons de dire (720 et 721) que le gas muriatique oxigéné n'est plus acide : en effet, il ne rougit pas les couleurs bleues des végétaux, comme il l'eût fait, s'il n'eût pas été surchargé d'oxigène.

725. Expérience. Dans un tube plein de ce gas, faites passer un peu de teinture de tournesol : la couleur n'en sera point changée en rouge, mais elle sera entièrement effacée.

726. Car le gas muriatique oxigéné décolore les étoffes teintes, le sirop de violettes, les fleurs, etc. et réduit tous ces corps au blanc.

727. Expérience. Dans une cloche de verre pleine de ce gas, et placée sur l'appareil, ou à l'eau, ou au mercure, faites passer un petit bouquet de fleurs de violettes : elles seront décolorées sur-le-champ. Cet effet est si prompt, sur-tout lorsqu'on se sert de l'appareil au mercure, qu'il semble qu'on ait escamoté le bouquet de fleurs bleues, et qu'on en ait substitué un de fleurs blanches. Avec l'appareil à l'eau, l'effet n'est pas si prompt, parce que l'adhérence de l'eau aux pétales de la fleur retarde un peu le contact immédiat du gas sur eux.

728. Ce gas décolore de même et blanchit la toile, la cire jaune, la soie, etc. C'est par le moyen de son excès d'oxigène qu'il produit ces effets ; et en perdant cet excès d'oxigène, il redevient gas acide

muriatique simple, qui est alors tout-à-fait soluble dans l'eau.

729. Le gas muriatique oxigéné a la propriété de décomposer l'ammoniaque, lequel peut par conséquent servir pour se préserver des effets nuisibles de ce gas, dont nous avons parlé ci dessus (722). Car son oxigène excédant se combine avec l'hydrogene de l'ammoniaque, et forme de l'eau; et la mofette ou l'azote se trouve libre. Nous avons dit ci-devant (659) que l'ammoniaque est composé d'une partie d'hydrogène et de six parties d'azote, le tout dissous dans l'eau.

730. Le gas muriatique oxigéné n'est pas aussi soluble dans l'eau que l'est le gas acide muriatique simple (lequel ne peut en aucune façon être recueilli sous l'eau) : il y est cependant soluble jusqu'à un certain point, (719) et forme alors l'acide muriatique oxigéné en liqueur, qui est le vrai dissolvant de l'or, du platine, etc.

731. EXPÉRIENCE. Dans l'acide muriatique oxigéné, c'est-à-dire, dans de l'eau qu'on a saturée de gas muriatique oxigéné, mettez quelques feuilles d'or battu : elles y seront promptement dissoutes.

732. Dans l'acide nitro-muriatique ou eau régale, c'est le même agent qui dissout l'or. Car l'eau régale est un mélange d'acide muriatique et d'acide nitrique (636). Dans ce mélange, l'acide muriatique (dont la base a une grande affinité avec l'oxigène) se combine avec l'oxigène de l'acide nitrique, et devient par-là l'acide muriatique oxigéné; et la base de l'acide nitrique demeure libre : de sorte que dans cette liqueur il ne reste peut-être plus rien d'acide. L'acide nitrique

a perdu son acidité, en perdant son oxigène; et l'acide muriatique a perdu la sienne, en se combinant avec l'oxigène de l'acide nitrique : deux faits qui, comme nous l'avons dit ci-dessus (720), sont difficiles à expliquer.

733. L'acide muriatique oxigéné se décompose peu à peu par le contact de la lumière, qui en dégage l'oxigène excédant; et par-là il repasse à l'état d'acide muriatique pur : et cet oxigène excédant ainsi dégagé, se combinant avec le calorique, forme de l'air pur.

ORDRE II.

Gas salins.

734. Ce sont ceux qui sont ou acides ou alkalins (603). Parmi ceux-ci, il n'y en a qu'un qui se trouve naturellement, qui est le gas acide carbonique : tous les autres ne sont que le produit de l'art.

6. Gas acide carbonique.

735. Le gas acide carbonique est, de tous les gas, le plus anciennement connu. *Paracelse* et les anciens le nommoient *esprit sauvage*, *spiritus sylvestris*. *Vanhelmont* l'appela ensuite *gas sauvage*, *gas sylvestre*. Il fut après cela nommé *air fixe* par *Black*, *Boyle*, *Hales*, *Priestley*, *Lavoisier*, etc.; *acide méphitique*, par *Bewly*; *gas méphitique*, par *Macquer*; *acide aérien*, par *Bergman*. Enfin *Lavoisier* l'a appelé *gas acide crayeux*; et en dernier lieu, *gas acide carbonique*, parce qu'il est composé d'oxigène combiné avec une matière charbonneuse, qu'il tient en dissolution (614), et dans la proportion d'environ 72

parties d'oxigène, et 28 parties de matière charbonneuse, appelée *carbone* par les modernes.

736. En effet, si, dans un vaisseau fermé, l'on fait brûler du charbon dans l'air pur, ce qui demeure après la combustion, est du gas acide carbonique.

737. EXPÉRIENCE. Dans une cloche de verre pleine d'air pur, et placée sur l'appareil pneumato-chimique au mercure, mettez, dans un petit vase, une quantité déterminée de charbon, privé de gas hydrogène par une calcination préliminaire dans des vaisseaux fermés; qu'il y ait sur le charbon un quart de grain d'amadou, recouvert d'un atome de phosphore. Allumez le phosphore avec un fer rouge recourbé, que vous ferez passer à travers le mercure. Le phosphore mettra le feu à l'amadou; l'amadou le mettra au charbon; l'inflammation sera très-rapide, et accompagnée de beaucoup de lumière. Alors il se trouvera dans la cloche du gas acide carbonique, dont le poids sera égal au poids de l'air pur employé, plus au poids qu'aura perdu le charbon. Car si, sous cette cloche, vous introduisez un poids connu d'alkali caustique en liqueur, il absorbera le gas acide carbonique formé dans cette combustion; et il sera augmenté de poids d'une quantité égale aux poids dont nous venons de parler.

738. Dans cette opération, l'oxigène, dont la combinaison avec le calorique formoit l'air pur, se combine avec le carbone (*a*) et une portion du calo-

(*a*) Le charbon ordinaire est composé d'une base terreuse et d'une substance charbonneuse, que les chimiste modernes ont appelée *carbone*. Ce carbone seul est dissoluble dans certains gas, et la base terreuse est ce qui forme la cendre après la combustion du charbon.

rique, et forme le gas acide carbonique; taudis que le reste du calorique, autre principe de l'air pur, se dégage avec chaleur et lumière, en prenant l'état de liberté. Car le gas acide carbonique, pour avoir la forme gaseuse, n'a pas besoin d'une aussi grande quantité de calorique qu'en exige l'air pur.

739. Le gas acide carbonique se trouve naturellement dans plusieurs souterreins, comme, par exemple, la grotte du Chien en Italie, dans les galeries des mines, dans différentes sources d'eau : c'est ce gas qui rend ces eaux spiritueuses et acidules. Telles sont les eaux de Pyrmont, de Saint-Mion, de Seltz, de Pougues, de Châteldon, de Bussang, de Spa, etc.

740. Ce gas est fourni abondamment, 1°. par les liqueurs spiritueuses fermentantes, tels que le vin, la bière, etc. Sa formation est due alors à la combinaison de la matière charbonneuse de la partie sucrée, avec le principe oxigène de l'eau; 2°. par la respiration des animaux, dans laquelle l'oxigène de l'air, fournissant une partie de son calorique pour l'entretien de la vie (662), se éombiue avec une matière charbonneuse, qui, selon les chymistes modernes, se dégage du sang et des poumons; 3°. par la combustion des corps, dans laquelle une partie de l'oxigene de l'air se combine avec la matière charbonneuse du corps qui brûle.

741. La base du gas acide carbonique est combinée dans un grand nombre de corps naturels, tels que le carbonate calcaire, le marbre, toutes les pierres à chaux, les carbonates alkalins, et en général, dans toutes les matières qui font effervescence avec les acides. Il est aisé de l'extraire de ces substances,

en faisant agir sur elles de l'acide nitrique ou de l'acide sulfurique affoibli d'eau. Car cet acide carbonique a si peu d'affinité avec ses bases, qu'il en est chassé par tout autre acide, et même quelquefois par la chaleur seule.

742. EXPÉRIENCE. Dans un flacon garni d'un tube recourbé (*fig.* 114), mettez du carbonate calcaire ou alkalin, etc. versez par-dessus de l'acide nitrique, ou de l'acide sulfurique affoibli avec de l'eau. Engagez l'extrémité D du tube recourbé dans le trou oblong *c* ou *d* de la planche E F de l'appareil pneumato-chymique à l'eau (*fig.* 112), sur lequel trou vous aurez placé une cloche pleine d'eau. Il s'excitera dans le flacon une fermentation, pendant laquelle il se dégagera et passera dans la cloche un fluide aériforme, qui est du gas acide carbonique.

743. Ce gas est soluble dans l'eau, mais lentement. Si l'on veut que cela se fasse plus promptement, il faut agiter fortement ces deux fluides ensemble pour multiplier leurs contacts.

744. EXPÉRIENCE. Dans le grand tube gradué (*fig.* 116) mettez trois ou quatre mesures de ce gas, et l'agitez fortement dans l'eau de la cuvette, l'ouverture du tube toujours en en-bas. Vous verrez, par l'ascension de l'eau dans le tube, qu'il y en aura une grande partie de dissoute dans l'eau.

745. L'eau dissout de ce gas plus ou moins, suivant son degré de chaleur, ou plutôt suivant son degré de refroidissement : plus elle est froide, plus elle en dissout; mais même dans ce cas-là elle n'en peut dissoudre qu'un volume environ égal au sien.

746. L'eau qui tient ce gas en dissolution, prend

un goût acidule, et a les mêmes propriétés que les eaux minérales simplement gaseuses.

747. EXPÉRIENCE. Remplissez d'eau propre la caraffe ronde (*fig.* 120) : placez-la, le goulot en en-bas, sur la planche E F de l'appareil pneumato-chymique à l'eau (*fig.* 112) : faites-y passer du gas acide carbonique, assez pour en remplir environ la moitié de sa capacité ; bouchez-la bien avant de sortir son goulot de l'eau ; ensuite agitez le tout fortement. Le gas se dissoudra dans l'eau ; et l'eau prendra le goût acidule, comme vous pourrez vous en assurer en en goûtant.

748. Cette eau est devenue vraiment acide ; car elle rougit la teinture de tournesol.

749. EXPÉRIENCE. Versez de cette eau sur un peu de teinture de tournesol ; sa couleur bleue sera changée en rouge clair.

750. Cet acide, sous la forme gaseuse, produit le même effet.

751. EXPÉRIENCE. Dans un tube plein de ce gas, versez un peu de teinture de tournesol délayée d'eau : sa couleur bleue sera changée en rouge clair.

752. Ce gas et l'eau qui le tient en dissolution, précipite la chaux dissoute dans l'eau. Car si, dans un tube plein de ce gas, vous versez un peu d'eau de chaux, vous verrez l'eau devenir laiteuse, et la chaux se précipiter. Vous verrez le même effet, si sur de l'eau de chaux vous versez de l'eau acidulée par ce gas.

753. De la chaux combinée avec ce gas, forme du carbonate calcaire vulgairement appelé de la *craie*, qui n'est pas soluble dans l'eau ; voilà pourquoi elle

se

se précipite. L'eau de chaux est donc une pierre de touche propre à faire reconnoître la nature et la quantité de ce gas acide.

754. La chaux est précipitée de même par le fluide que les animaux expirent.

755. EXPÉRIENCE. Dans un verre en partie rempli d'eau de chaux, soufflez avec un tube, de manière à faire passer le fluide que vous expirez à travers l'eau de chaux : vous verrez la chaux se précipiter.

756. Le gas acide carbonique s'est donc formé dans la poitrine, comme nous l'avons dit ci-dessus (662) par la combinaison de l'oxigène de l'air pur avec la matière carbonneuse qui se dégage du sang : et une partie du calorique, autre principe de l'air pur, demeure dans le corps de l'animal, pour en entretenir la vie ; tandis que le gas acide carbonique et le gas azotique (673) sont expirés.

757. Le gas acide carbonique se combine avec les alkalis, et les fait cristalliser.

758. EXPÉRIENCE. Dans un bocal à bords recourbés plein de ce gas, mettez un peu d'alkali pur et caustique en liqueur : bouchez promptement l'orifice de ce vase avec de la vessie mouillée ; et, en tournant ce vase, étendez bien l'alkali sur ses parois. Il y aura diminution de volume, due à l'absorption du gas par l'alkali ; ce que prouvera l'enfoncement de la vesssie : il s'excitera de la chaleur pendant la combinaison, laquelle chaleur est causée par le calorique qui prend l'état de liberté : et peu de temps après, on apperçoit, sur les parois du bocal, des cristaux, qui deviennent de plus en plus gros.

759. Le gas acide carbonique est plus pesant que l'air atmosphérique. Sa pesanteur spécifique est à celle de l'air, comme 150,60 est à 100,00 : et à celle de l'eau distillée, comme 18,6161 est à 10000,0000. Le décimètre cube de ce fluide pèse 1 gramme 865 milligrammes ($35^{gr.},071$); et le mètre cube, 1 kilogramme 862 grammes 789 milligrammes (3 livres 12 onces 7 gros 7 grains). *En mesures et poids anciens*, le pouce cube de ce fluide pèse 0,6950 de grain ($36^{m.gm.},915$); et le pied cube 2 onces 0 gros $48^{gr.},9600$ (63 grammes 789 milligrammes).

760. Il est aisé de faire voir l'excès de la pesanteur de ce fluide sur celle de l'air. Si dans un vase plein d'huile vous versiez de l'eau, qu'arriveroit-il ? Le vase, déjà plein d'huile, ne pourroit pas contenir les deux fluides : l'un des deux seroit contraint de s'extravaser. L'eau, comme la plus pesante, se porteroit au fond du vase, et l'huile, comme la plus légère, s'extravaseroit. Vous ferez de même extravaser de l'air en versant dessus du gas acide carbonique qui est plus pesant.

761. Expérience. Prenez donc deux vases, à-peu-près de même capacité : que le vase A, par exemple, soit plein d'air, et le vase B plein de ce gas. Versez le gas sur l'air; le vase A, auparavant plein d'air, se trouvera plein de gas; l'air se sera extravasé.

762. Vous aurez de ce fait la preuve suivante; le gas acide carbonique éteint les corps embrasés, et suffoque les animaux.

763. Expérience. Plongez donc dans le vase A, ou une bougie allumée, ou un animal vivant. La

bougie sera éteinte, comme si on la plongeoit dans l'eau; et l'animal sera promptement suffoqué, tandis que ni l'un ni l'autre ne seroit arrivé, si le vase A étoit demeuré plein d'air.

764. Les êtres vivans qui périssent le plus promptement dans ce gas, sont ceux qui ont deux ventricules au cœur : tels sont les hommes, les quadrupèdes, les cétacées et les oiseaux : quelques minutes suffisent pour les faire périr sans retour. Mais les grenouilles, les serpens, les poissons, les insectes, etc. à la vérité, y paroissent morts, après y être demeurés plongés pendant quelque temps; mais, si après cela on les expose à l'air libre, ils sont rappelés à la vie. J'ai tenu des poissons plongés dans ce gas pendant plus d'une demi-heure : ils y paroissoient absolument sans vie. Je les ai ensuite exposés à l'air libre, ils s'y sont ranimés; ils n'étoient qu'asphixiés. Mais ils se sont rétablis beaucoup plus promptement, lorsque je les ai plongé dans l'eau : au bout de deux minutes, ils étoient aussi vifs qu'avant d'être plongés dans le gas. Sans doute que l'eau absorbe ce gas (743) qui les suffoque, et les met en état de recevoir de l'air. Si les hommes pouvoient être plongés dans l'eau sans être suffoqués, ce seroit peut-être le moyen le plus prompt de les guérir de l'asphixie

765. Plusieurs physiciens prétendent que le gas acide carbonique a la propriété de conserver les substances animales et de retarder leur putréfaction; ce que je n'ai pas de peine à croire, parce que je pense que la présence de l'air pur (647), ou du moins d'une substance capable de fournir de l'oxigène, telle que l'eau (640), par exemple, est nécessaire à la putréfaction; car les corps ne se pourrissent qu'en se com-

binant avec l'oxigène. Quelques-uns ont même cru que ce gas est capable de rétablir les matières déjà putréfiées, ou du moins qui ont commencé à se putréfier; ce que je crois difficilement.

766. Comme la respiration des animaux et la combustion des corps usent continuelllement de l'air pur, et font passer à sa place, dans l'atmosphère, du gas acide carbonique, le fluide que nous respirons deviendroit bientôt infect et mortel, si rien ne le rétablissoit. Mais l'eau, dont la plus grande partie de la surface de notre globe est couverte, absorbe une grande partie de ce gas, et la végétation de la verdure en décompose une autre partie; car le tissu végétal absorbe le carbone, et l'oxigène demeuré libre, se combinant avec la matière de la chaleur ou le calorique, forme de l'air pur. De plus, une partie de l'eau, qui sert à la végétation, se décompose; l'hydrogène est absorbé par la plante, et l'oxigène demeure libre (654).

7. *Gas acide muriatique.*

767. Le gas acide muriatique ne se trouve point naturellement; il n'est que le produit de l'art. On l'obtient en chauffant l'acide muriatique fumant dans une cornue OM (*fig.* 115), dont le bec est engagé sous une cloche pleine de mercure, placée sur la planche de l'appareil pneumato-chymique au mercure. On peut l'obtenir aussi, avec le même appareil, en chauffant, au lieu d'acide muriatique, un mélange de muriate de soude ou sel marin, et d'acide sulfurique. Car l'acide sulfurique se combine avec la base du muriate de soude, et l'acide muriatique, demeuré libre, passe en gas acide muriatique.

768. Ce gas ne peut point être recueilli sur l'eau, parce qu'il y est entièrement et très-promptement soluble.

769. Expérience. Dans la cloche pleine de mercure, dans laquelle vous aurez recueilli ce gas, faites passer un peu d'eau, qui, par sa légèreté respective, se portera à la surface du mercure; sur-le-champ le gas sera entièrement absorbé et dissous dans l'eau; le mercure remontera jusque vers le haut de la cloche; et la liqueur qui se trouvera au-dessus du mercure, sera de véritable acide muriatique, d'autant plus concentré qu'il y aura plus de gas et moins d'eau.

770. Le gas acide muriatique n'est donc autre chose que l'acide muriatique lui-même privé d'eau (615), c'est-à-dire, aussi concentré qu'il puisse l'être, et combiné avec le calorique qui lui fait prendre la forme gaseuse.

771. Le gas acide muriatique a une odeur vive et piquante.

772. Ce gas, mêlé à l'air de l'atmosphère, forme, de même que le fait l'acide muriatique, des fumées ou vapeurs blanches, produites par la combinaison de ce gas avec l'humidité de l'air, et d'autant plus apparentes que l'air est plus humide. Aussi prétend-on que ces vapeurs ne sont pas sensibles sur les hautes montagnes, où l'air est, dit-on, très-sec.

773. La base du gas acide muriatique est fortement combinée avec l'oxigène, avec lequel elle a une si grande affinité, qu'on ne peut pas l'en séparer. Aussi ignore-t-on ce que c'est que cette base : elle est jusqu'à présent inconnue. Son affinité avec ce principe acidifiant est telle, qu'elle peut même se com-

biner avec une plus grande quantité d'oxigène que celle qui lui est nécessaire pour la constituer acide, et elle forme alors le gas muriatique oxigéné, dont nous avons parlé ci-dessus (717 *et suiv.*)

774. Le gas acide muriatique est beaucoup plus pesant que l'air atmosphérique. Sa pesanteur spécifique est à celle de l'air comme 172,71 est à 100,00 : et à celle de l'eau distillée comme 21,5482 est à 10000,0000. Le décimètre cube de ce gas pèse 2 grammes 136 milligrammes (40,218 gr.), et le mètre cube 2 kiliogrammes 136 grammes 170 milligrammes (4 livres 5 onces 6 gros 42 grains). *En mesures et poids anciens*, le pouce cube de ce fluide pèse 0,7970 de grain (42,332 m.gm.), et le pied cube 2 onces 3 gros 9,2160 gr. (73 grammes 151 milligrammes).

775. Le gas acide muriatique étant l'acide muriatique lui-même, donne les mêmes signes d'acidité. Il rougit les couleurs bleues des végétaux ; mais il ne les détruit pas, non plus que les autres couleurs, comme le fait le gas muriatique oxigéné (726).

776. Il se combine avec toutes les bases alkalines, et forme avec elles des sels muriatiques.

777. Expérience. Si, dans une cloche pleine de mercure, vous faites passer du gas acide muriatique, et qu'ensuite vous y mêliez du gas ammoniacal, dont nous parlerons ci-après (804), le mélange s'échauffe beaucoup, parce que ces deux fluides élastiques, en se pénétrant mutuellemnet, perdent le calorique qui les tenoit sous la forme gaseuse, et que cette matière, devenue libre, se fait sentir : il se forme sur-le-champ un nuage blanc, preuve de leur pénétration mutuelle :

le mercure remonte dans la cloche, et bientôt ses parois intérieurs se trouvent tapissées de cristaux ramifiés, qui sont un vrai muriate d'ammoniaque.

778. En effet, le gas acide muriatique n'est que de l'acide muriatique (770), le gas ammoniacal n'est que de l'ammoniaque (806); et l'on sait que la combinaison de ces deux substances forme le muriate d'ammoniaque.

779. Le gas acide muriatique suffoque les animaux qu'on y plonge. Il éteint la flamme des bougies, mais en l'agrandissant d'abord, et en donnant à son disque une couleur verte ou bleuâtre.

780. Le gas acide muriatique est absorbé par les corps spongieux, tels que du charbon, une éponge, etc.

781. Le gas acide muriatique dissout le camphre.

782. Il s'empare de l'eau surabondante du sulfate d'alumine et du borate, et les réduit en poudre.

783. Il fait fondre la glace aussi promptement que si on la jetoit dans un brasier.

784. Dans tous ces cas, il est absorbé, et forme un acide muriatique pareil à celui dont on l'a extrait.

785. Tout ceci n'est que l'effet très-connu de la grande violence avec laquelle les acides concentrés s'unissent à l'eau.

8. *Gas acide sulfureux.*

786. Le gas acide sulfureux ne se trouve point naturellement; il n'est que le produit de l'art. On l'obtient, en chauffant dans une cornue O M (*fig.* 115) (de même que nous avons dit (767) qu'on le fait pour obtenir le gas acide muriatique) de l'acide sulfurique

pendant qu'il agit sur des corps combustibles, tels que de l'huile, du charbon, du mercure, etc. en un mot, sur des corps qui puissent enlever une partie de l'oxigène qui est combiné avec le soufre dans cet acide; car l'acide sulfureux n'est autre chose que l'acide sulfurique, mais privé d'une partie de son oxigène (629). C'est donc du soufre combiné avec une quantité d'oxigène moindre que celle qui est nécessaire pour en faire de l'acide sulfurique. Le corps combustible enlève donc une partie de son oxigène à l'acide sulfurique, qui devient par-là acide sulfureux; et le calorique se combinant avec cet acide sulfureux, lui fait prendre la forme gaseuse.

787. Tout cela doit se faire avec l'appareil au mercure, parce que le gaz acide sulfureux est entièrement soluble dans l'eau. L'acide sulfurique n'est pas capable de passer à la forme gaseuse; il faut pour cela qu'il soit devenu acide sulfureux.

788. Expérience. Qu'on mette donc dans une cornue de l'acide sulfurique sur du mercure, et qu'on le chauffe, le bec de la cornue étant engagé sous une cloche pleine de mercure, 1°. le mercure de la cornue se combine avec une partie de l'oxigène de l'acide sulfurique, et par cette combinaison, s'oxide en poudre blanche. Pendant ce temps-là, l'acide sulfurique, en perdant une partie de son oxigène, devient acide sulfureux, et passe sous la forme gaseuse en se combinant avec le calorique. 2°. Cette opération étant finie, si l'on continue de chauffer, et qu'on substitue une autre cloche, il passe un autre fluide élastique, qui est de l'air pur ou gas oxigène; et pendant ce temps-là, le mercure qui avoit été oxidé redevient du mercure coulant. On voit bien que,

dans cette seconde opération, l'oxigène, qui, en se combinant avec le mercure, l'avoit d'abord oxidé, s'échappe ensuite par la chaleur, se combine avec le calorique, et forme l'air pur : voilà donc, dans cette seule expérience, un métal, 1°. oxidé; 2°. revivifié. Le mercure n'étant donc point altéré, il est clair que les deux fluides élastiques que l'on obtient sont dûs à l'acide sulfurique, qui est décomposé.

789. Le gas acide sulfureux n'est donc autre chose que l'acide sulfureux lui-même, privé d'eau (616) et très-concentré, combiné avec le calorique, qui lui fait prendre la forme gaseuse. C'est ce gas acide que l'on sent, quand on fait brûler du soufre.

790. Le gas acide sulfureux est plus de deux fois aussi pesant que l'air atmosphérique. Sa pesanteur spécifique est à celle de l'air, comme 205,43 est à 100,00; et à celle de l'eau distillée, comme 25,3929 est à 10000,0000. Le décimètre cube de ce fluide pèse 2 grammes 541 milligrammes (47$^{gr.}$,858); et le mètre cube, 2 kiliogrammes 540 grammes 905 milligrammes (5 livres 3 onces 0 gros 30 grains). *En mesures et poids anciens*, le pouce cube de ce gas pèse 0,9480 de grain (50$^{m.gm.}$,353); et le pied cube 2 onces 6 gros 54$^{gr.}$,1440 (87 grammes 10 milligrammes).

791. Le gas acide sulfureux éteint les corps embrasés, et tue les animaux qu'on y plonge.

792. Il détruit beaucoup de couleurs végétales; par ce caractère, il se rapproche du gas muriatique oxigéné, dont nous avons parlé ci-dessus (717 *et suiv.*)

793. Il se combine avec les alkalis, et forme avec eux des sels neutres, mais qui diffèrent de ceux qui sont formés par l'acide sulfurique, par la forme, la saveur, et sur-tout par la propriété d'être décomposés par les acides les plus foibles, et même par l'acide acéteux.

794. Ce gas est entièrement soluble dans l'eau, avec laquelle il s'unit promptement en perdant son calorique, et il redevient par-là l'acide sulfureux en liqueur. Aussi fait-il fondre la glace aussi promptement que le fait le gas acide muriatique (783).

9. *Gas acide fluorique.*

795. Le gas acide fluorique ne se trouve point naturellement; on ne peut se le procurer que par le secours de l'art. On l'obtient, en chauffant, dans une cornue O M (*fig.* 115) (de même que nous avons dit (767) qu'on le fait pour obtenir le gas acide muriatique), de l'acide sulfurique, pendant qu'il agit sur du spath fluor pulvérisé. Alors l'acide sulfurique, en se combinant avec la base du spath fluor (qui est calcaire) (799), en dégage un autre acide, qui, en se combinant avec le calorique, passe sous la forme d'un fluide élastique, qui est le gas acide fluorique, ci-devant connu sous le nom de *gas acide spathique.*

L'acide fluorique est donc tout formé dans le spath fluor: il y est combiné avec la terre calcaire; et il forme ce sel insoluble. C'est à *Margraff* à qui nous devons la première connoissance de cet acide: le duc de *Liancourt*, dans un mémoire imprimé sous le nom de *Boullanger*, nous a fait connoître quelques-

unes de ses propriétés : enfin *Scheele* paroît y avoir mis la dernière main. Mais on ignore quelle est la nature du radical fluorique, parce qu'on n'est pas encore parvenu à décomposer l'acide.

796. Il faut recueillir ce gas sur le mercure, parce qu'il est tout-à-fait soluble dans l'eau, et que sa solution y est même très-prompte.

797. Expérience. Si, dans la cloche dans laquelle on a recueilli ce gas, on fait passer un peu d'eau au-dessus de la surface du mercure, le gas s'y dissout sur-le-champ, et avec chaleur; et le mercure remonte dans la cloche. Mais cette dissolution du gas dans l'eau est communément accompagnée d'un phénomène très-singulier; c'est la précipitation ou déposition d'une terre blanche très-fine, qui est quartzeuse ou siliceuse.

798. Le gas acide fluorique n'est donc autre chose, comme l'a pensé *Scheele*, qu'un acide particulier extrait du spath fluor (617) dont on ne connoît pas la base (630), et qui est combiné avec le calorique qui lui fait prendre la forme gaseuse. Cet acide tient souvent en dissolution une terre vitrifiable, et il en tient une plus grande quantité sous la forme gaseuse, que lorsqu'il est en liqueur, puisque, lorsqu'on le fait passer de l'état de gas à celui de liqueur, il en dépose une partie.

799. Cette matière terreuse ne vient point du spath, comme l'a cru *Priestley* : car la base du spath fluor paroît être calcaire. La preuve de cela, c'est que le gas acide fluorique précipite la chaux dissoute dans l'eau ; et, en se combinant avec cette chaux, il reforme sur-le-champ du spath fluor. Cette terre

vitrifiable vient plutôt des vases de verre ou de terre dont on se sert pour extraire ce gas; car celui qui est extrait dans des vases de métal, comme l'a fait *Meyer*, ne tient point de terre en dissolution. D'après cela, on ne doit pas être étonné que le gas acide fluorique corrode et perce le verre, ce qui obligeoit *Priestley* de prendre, pour ses expériences, des bouteilles de verre très-épais. En conséquence de cette propriété de corroder le verre, *de Puymorin* a imaginé de graver sur le verre par le moyen de l'acide fluorique, comme on grave sur le cuivre par le moyen de l'acide nitreux.

800. Le gas acide fluorique paroît être plus pesant que l'air athmosphérique. Je n'en connois pas encore exactement la pesanteur spécifique.

801. Ce gas éteint les corps embrasés, et suffoque les animaux qu'on y plonge.

802. Il rougit fortement les couleurs bleues des végétaux.

803. Il a une odeur forte et pénétrante qui approche de celle du gas acide muriatique (771), mais qui est un peu plus active. Lorsqu'on en mêle à l'air, il forme, de même que ce dernier gas (772) des vapeurs blanches, en se còmbinant avec l'humidité de l'air. Malgré ces ressemblences avec l'acide muriatique, il en diffère cependant beaucoup; car il forme avec les alkalis des sels neutres fluoriques très-différens de ceux que forme le gas acide muriatique avec les mêmes alkalis. C'est donc à tort que les chymistes français qui, sous le nom de *Boullanger*, ont publié, en 1773, une suite d'expériences sur le spath fluor, ont pensé que l'acide de ce spath n'étoit que

l'acide muriatique, combiné avec une matière terreuse.

10. *Gas ammoniacal.*

804. Le gas ammoniacal ne se rencontre point naturellement; il ne peut être produit que par le secours de l'art. Pour obtenir ce gas, on met dans une cornue O M (*fig.* 115), garnie d'un tube recourbé M N, une certaine quantité d'ammoniaque: on chauffe le fond de la cornue avec quelques charbons allumés, ou avec une lampe à l'esprit-de-vin: on laisse sortir d'abord l'air du vaisseau et du tube, et on ne recueille le gas dans des cloches pleines de mercure, que quand l'ébullition du liquide est bien établie. Pour éviter de faire passer dans la cloche de l'eau en vapeur, qui s'y condenseroit et dissoudroit le gas, il est bon de mettre entre la cornue et le tube de communication, un petit vase, qu'on a soin de refroidir avec de la glace, afin d'y faire condenser l'eau qui pourroit passer en vapeur. Par ce moyen, on se procure du gas ammoniacal très-sec et très-pur. On peut, de la même manière, obtenir le gas ammoniacal d'un mélange de trois parties de chaux vive et d'une partie de muriate d'ammoniaque. Ce sel se décompose alors : l'acide muriatique, qui est un de ses principes, se combine avec la chaux; et l'ammoniaque, son autre principe, en se combinant avec le calorique, passe sous la forme gaseuse.

805. On ne pourroit pas recueillir le gas ammoniacal avec l'appareil à l'eau, parce que l'eau absorbe très-promptement ce gas en le disolvant, et cette dissolution de ce gas dans l'eau est de l'ammoniaque.

806. Le gas ammoniacal n'est donc autre chose

que de l'ammoniaque privé d'eau (618), et dans l'état de la plus parfaite concentration, combiné avec le calorique qui lui fait prendre la forme gaseuse.

807. Mais ce gas ammoniacal si pur est lui-même composé d'une partie de gas hydrogène, dont nous allons parler dans l'instant (815 *et suiv.*), et de six parties de gas azotique (673). En voici la preuve, fournie par *Bertholet*, de l'Académie des Sciences.

808. Expérience. Dans une cloche pleine de mercure, mêlez ensemble du gas ammoniacal et du gas muriatique oxigéné (717). Le gas ammoniacal sera promptement décomposé : l'excès d'oxigène du gas muriatique se combinera avec l'hydrogène, base du gas hydrogène, l'une des parties constituantes du gas ammoniacal, et formera de l'eau : le gas muriatique, en perdant son excès d'oxigène, sera devenu acide muriatique qui se dissoudra dans cette eau : et il reste un fluide aériforme, qui est du gas azotique, autre partie constituante du gas ammoniacal. Le tout est accompagné de chaleur, qui est due à l'état de liberté que prend le calorique qui étoit combiné avec le gas hydrogène et avec le gas muriatique oxigéné.

809. Le gas ammoniacal est le plus léger de tous les gas salins, et même beaucoup plus léger que l'air atmosphérique. Sa pesanteur spécifique est à celle de l'air, comme 52,87 est à 100,00; est à celle de l'eau distillée, comme 6,5357 est à 10000,0000. Le décimètre cube de ce fluide pèse 654 milligrammes (12,313 gr.); et le mètre cube, 654 grammes 2 milligrammes (1 livre 5 onces 5 gros 1 grain). *En mesures et poids anciens*, le pouce cube de ce gas pèse 0,2440 de grain

($\overset{m.\,gm.}{12,960}$); et le pied cube 5 gros $\overset{gr.}{61,6320}$ (22 grammes 400 milligrammes).

810. Le gas ammoniacal a une odeur pénétrante, et une saveur âcre et caustique. Il verdit promptement et fortement les couleurs bleues des végétaux.

811. Il se combine rapidement avec les gas acides carbonique, muriatique et sulfureux, et forme sur-le-champ des sels neutres, en excitant beaucoup de chaleur qui est due à l'état de liberté que prend le calorique, qui étoit combiné avec ces gas, et qui leur donnoit l'état aériforme. Tous ces sels sont ammoniacaux.

812. Le gas ammoniacal suffoque les animaux; comme le font tous les autres gas suffoquans.

813. Quoiqu'il ne puisse pas servir à la combustion, et qu'il éteigne les corps enflammés, il est cependant légèrement inflammable par le gas hydrogène qui entre dans sa composition (807); et par-là il augmente la flamme d'une bougie, et lui donne un volume un peu plus considérable avant de l'éteindre.

814. Le gas ammoniacal est promptement absorbé et dissous dans l'eau, et forme de l'ammoniaque pareil à celui dont on l'a extrait. Si l'eau est en état de glace, le gas ammoniacal la fait fondre sur-le-champ en produisant du froid, parce qu'il faut une grande quantité de calorique combinée avec la glace pour la faire fondre (1098). Au contraire, le gas ammoniacal produit de la chaleur en se dissolvant dans l'eau déjà fluide, parce que cette eau n'ayant pas besoin d'une nouvelle quantité de calorique, celui du gas prend l'état de liberté.

ORDRE III.

Gas inflammables ou hydrogènes.

815. Les gas hydrogènes, connus sous le nom de *gas inflammables* (604), se trouvent naturellement dans les vases des eaux bourbeuses et des marais ; dans les mines, soit métalliques, soit de charbon de terre ; dans les entrailles des animaux. Ils s'exhalent des latrines, des cimetières, en uu mot, de tous les lieux ou il y a des matières animales ou végétales en putréfaction, et de là ils s'élèvent dans l'atmosphère. Mais dans tous ces cas ils ne sont jamais biens purs.

816. On peut obtenir le gas hydrogène dans son état de pureté par le secours de l'art, et cela en décomposant l'eau, puisqne sa base est une des parties constituantes de l'eau (620) ; c'est pourquoi on a donné à cette base le nom d'*hydrogène*, c'est-à-dire, *générateur de l'eau*. Cette base est jusqu'à présent inconnue : on ne sait quelle est cette substance, parce qu'on ne peut pas la séparer du calorique qui lui donne la forme gaseuse, sans la fixer dans un autre corps.

817. Il est bien prouvé aujourd'hui que l'eau n'est point un être simple, qu'elle est composée de la base de l'air pur, appelée *oxigène*, et de la base du gas hydrogène ou inflammable, appelée *hydrogène*, savoir, 17 parties d'oxigène et 3 parties d'hydrogène ; ou ce qui est la même chose, suivant les expériences faites par *Lavoisier*, de 85 parties d'oxigène et 15 parties d'hydrogène, mesurant par le poids : de sorte que pour former un pied cube d'eau, il faut 634 pieds cubes 1152 pouces cubes d'air pur, qui pèsent 59 livres 8 onces (29 kiliogrammes 125 grammes 598 milligrammes),

ligrammes), et 1513 pieds cubes 887 $\frac{11}{17}$ pouces cubes de gas hydrogène qui pèsent 10 livres 8 onces (5 kiliogrammes 159 grammes 811 milligrammes) : le tout, brûlé ensemble, formeroit un pied cube d'eau. De même, pour former un mètre cube d'eau, pesant 1000 kiliogrammes (2042 livres 14 onces 0 gros 14 grains), il faut le poids de 850 kiliogrammes (1736 livres 7 onces 0 gros 70 grains) d'air pur, et le poids de 150 kiliogrammes (306 livres 6 onces 7 gros 16 grains) de gas hydrogène. 1 mètre cube d'air pur pèse 1 kiliogramme 339 grammes 980 milligrammes (2 livres 11 onces 6 gros 28 grains) : 1 mètre cube de gas hydrogène pèse 99 grammes 165 milligrammes (3 onces 1 gros 67 grains). Il faut donc, pour former 1 mètre cube d'eau 634 mètres cubes 729 décimètres cubes 564 centimètres cubes 135 millimètres cubes d'air pur, et 1513 mètres cubes 653 décimètres cubes 151 centimètres cubes 426 millimètres cubes de gas hydrogène : le tout, brûlé ensemble, formeroit un mètre cube d'eau.

818. On obtiendra donc du gas hydrogène de l'eau, toutes les fois qu'on mettra en contact avec cette eau un corps sur lequel on fera agir un acide ou qu'on chauffera, et qui aura une plus grande affinité avec l'oxigène que ce dernier n'en a avec l'hydrogène. Le fer et le zinc, ainsi que le charbon et les huiles, sont de cette espèce.

819. EXPÉRIENCE. Dans un flacon garni d'un tube recourbé (*fig.* 114), mettez du fer ou du zinc en limaille : versez par-dessus de l'acide sulfurique très-affoibli avec de l'eau. Il s'excitera une fermentation accompagnée de chaleur. Laissez échapper l'air du vaisseau; après quoi engagez le bout du tube recourbé

sous une cloche pleine d'eau, placée sur l'appareil pneumato-chymique : vous verrez passer un fluide élastique, qui est du gas hydrogène.

820. Le fer ou le zinc, qui a plus d'affinité avec l'oxigène que n'en a ce dernier avec l'hydrogène, se combine avec l'oxigène de l'eau, et prend l'état d'oxide; et l'hydrogène, demeuré libre, se combine avec le calorique, et passe sous la forme gaseuse. On voit pourquoi on n'obtiendroit point de gas hydrogène, si l'acide étoit trop concentré et qu'il n'y eût pas d'eau, puisque c'est ici l'eau seule qui peut le fournir.

821. On obtiendroit le même gas, en substituant à l'acide sulfurique, ou l'acide muriatique, ou les acides végétaux du vinaigre et du tartre, ou même l'acide carbonique.

822. On obtiendra encore le gas hydrogène par la chaleur seule.

823. Expérience. Faites passer de l'eau goutte à goutte au travers d'un canon de fer rougi au milieu des charbons ardens : que ce canon soit terminé par un tube recourbé, engagé sous une grande cloche pleine d'eau, placée sur l'appareil pneumato-chymique. Il passera dans la cloche un fluide aériforme très-abondant, qui est du gas hydrogène. Il n'y a jamais eu d'expérience de ce genre plus belle que celle qu'a faite *Lavoisier*.

824. Dans cette expérience, l'oxigène de l'eau se combine avec le fer, qu'il réduit à l'état d'oxide; et l'hydrogène demeuré libre, se combinant avec le calorique, forme le gas hydrogène qui passe sous la cloche. Le poids de ce gas, plus le poids dont celui

du fer est augmenté, sont juste le poids de l'eau qui manque. Voici l'analyse.

825. EXPÉRIENCE. Si ensuite l'on brûle ensemble dans un vaisseau convenable, et qui ne laisse rien échapper, 634 pouces cubes 1152 lignes cubes d'air pur, qui pèsent 317 $\frac{3}{7}$ grains, et 1513 pouces cubes 887 $\frac{13}{17}$ lignes cubes de gas hydrogène, qui pèsent 56 grains, les deux poids ensemble faisant 373 $\frac{1}{7}$ grains, on aura un pouce cube d'eau, dont le poids est aussi 373 $\frac{1}{7}$ grains: car le calorique ne pèse point. Il en est de même dans tous les fluides aériformes; leur poids est dû en entier à leur base. Voici la synthèse. Cette belle expérience est encore due à *Lavoisier*.

826. Qu'on n'objecte pas ici que l'eau qu'on croit produite dans cette expérienée, étoit tenue en dissolution dans les deux fluides aériformes, et qu'elle en faisoit tout le poids. Voici des faits qui prouvent que cette objection n'est pas fondée.

827. On sait qu'on n'obtiendroit point de gas hydrogène, si, dans les experiences ci-dessus, on substituoit du cuivre au fer ou au zinc. Cela vient de ce que le cuivre ne peut pas décomposer l'eau, comme le font le fer et le zinc, parce que le cuivre a moins d'affinité avec l'oxigène, que n'en a ce dernier avec l'hydrogène. Mais, par cette raison-là même, le gas hydrogène peut enlever l'oxigène à l'oxide de cuivre, et le revivifier : et dans ce cas-là il se forme de l'eau.

828. EXPÉRIENCE. Dans une cloche pleine de mercure, placée sur l'appareil au mercure, faites passer une quantité connue de gas hydrogène bien pur, par exemple, 10 décimètres cubes, qui pèsent 991,706 m.gm. (18,671 gr.) : placez dans un petit vase flottant

sur le mercure de l'intérieur de la cloche de l'oxide de cuivre, et faites tomber, sur cet oxide de cuivre, le foyer d'un verre ardent. Le gas sera absorbé, le cuivre revivifié, le mercure remontera dans la cloche, et la surface du mercure et les parois intérieures de la cloche seront couvertes de petites gouttelettes d'eau.

829. Dans cette expérience, l'oxigène, qui avoit réduit le cuivre à l'état d'oxide, abandonne cet oxide, se combine avec l'hydrogène du gas, avec lequel il a plus d'affinité qu'il n'en a avec le cuivre, et cette combinaison forme de l'eau. Il est vrai qu'il est difficile ici de mesurer exactement la quantité d'eau produite : mais il est aisé de voir qu'il y en a un poids beaucoup plus considérable que celui des 10 décimètres cubes de gas hydrogène employés. Il est possible que, dans ce cas-là, il y ait plus de 6586 milligrammes (124 grains) d'eau produits. On ne peut pas dire que ces 6586 milligrammes d'eau étoient tenus en dissolution dans une quantité de gas qui ne pesoit que 991,706 m.gm. (18,671 gr.). Donc l'eau qui résulte de ces expériences n'est pas celle qu'on suppose tenue en dissolution dans les fluides aériformes qu'on emploie : donc il y en a de nouvelle produite.

830. On peut encore obtenir du gas hydrogène par le moyen des substances animales et végétales combustibles par leur analyse à feu nu. C'est toujours l'eau de ces substances qui en fournit la plus grande partie en se décomposant : car son oxigène se combine avec ces substances; et son hydrogène, se combinant avec le calorique, passe sous la forme de gas.

831. Il n'y a donc qu'une seule espèce de gas hydrogène, en quelque endroit qu'on le trouve, et quelles que soient les matières qu'on emploie pour l'extraire. Il ne peut être que mêlé de différentes substances, ou en tenir quelques-unes en dissolution; et c'est ce qui forme ses variétés, qui sont au nombre de cinq; savoir, le gas hydrogène sulfuré, le gas hydrogène phosphoré, le gas hydrogène carboné, le gas hydrogène carbonique, et le gas hydrogène des marais. Nous parlerons ci-après de toutes ces variétés. Examinons d'abord les propriétés du gas hydrogène pur et sans mélange.

11. *Gas hydrogène pur.*

832. Le gas hydrogène pur a une odeur forte et désagréable.

833. Il ne donne aucune marque d'acidité. Il ne précipite point la chaux dissoute dans l'eau : il ne rougit point la teinture du tournesol.

834. Expérience. Si, dans un tube plein de ce gaz, on met un peu d'eau de chaux, ou de teinture de tournesol, l'eau de chaux ne devient point laiteuse, et la couleur de la teinture de tournesol n'est point changée.

835. Lorsque le gas hydrogène est bien pur, il se conserve sans altération dans des bouteilles bien bouchées : il s'y conserveroit de même, quoiqu'il y eût de l'eau, parce qu'il n'y est point du tout soluble.

836. Le gas hydrogène pur est le plus léger de tous les fluides élastiques. Sa pesanteur spécifique est à celle de l'air, comme 8,02 est à 100,00; et à celle de l'eau distillée, comme 0,9911 est à 10000,0000. Le

décimètre cube de ce fluide pèse 99,165 milligrammes ($1^{\text{gr.}},867$); et le mètre cube, 99 grammes 165 milligrammes (3 onces 1 gros 67 grains). *En mesures et poids anciens*, le pouce cube de ce gas pèse 0,037 de grain ($1^{\text{m.gm.}},965$); et le pied cube, $63^{\text{gr.}},936$ (3 grammes $395^{\text{m.gm.}},9468$).

837. Le gas hydrogène suffoque les animaux, comme le font tous les gas suffoquans, mais en leur causant de vives convulsions.

838. Quoique ce gas soit un des êtres qui s'enflamment le plus aisément, cependant il éteint les corps enflammés qu'on y plonge, comme, par exemple, une bougie allumée. Cette bougie, en entrant dans le gas, l'enflamme à sa surface, tandis qu'elle s'éteint dans l'intérieur du gas; et il arrive souvent qu'en la retirant, elle se rallume.

839. Ce gas, quand il n'est point mêlé d'air, ne brûle donc qu'à sa surface, parce qu'il ne peut jamais s'enflammer que dans l'endroit où il est en contact avec l'air.

840. Expérience. Remplissez un vase long et étroit (*fig.* 121) de gas hydrogène, et l'enflammez avec une bougie allumée; vous le verrez brûler tranquillement, à la manière de l'esprit-de-vin.

841. Mais son inflammation est d'autant plus prompte et plus complète, que ses contacts avec l'air sont plus multipliés.

842. Expérience. Dans une bouteille de chopine, mettez une partie de gas hydrogène et deux parties d'air athmosphérique, et présentez au goulot

de la bouteille une bougie allumée. Le gas s'enflamme dans l'instant, et brûle avec une rapidité incroyable, en produisant une détonation vive, semblable à celle de la poudre à canon.

843. Si le gas hydrogène étoit mêlé d'air pur, sa détonation seroit considérablement plus forte.

844. Expérience. Dans la même bouteille (842), mettez deux parties de gas hydrogène et une partie d'air pur, et allumez le mélange, comme dans l'expérience précédente. La détonation sera très-violente. Elle peut l'être au point de casser la bouteille, quoiqu'elle soit ouverte. C'est pourquoi il faut prendre la précaution d'envelopper la bouteille d'un torchon, qui, en cas de rupture, en retiendroit les morceaux, et empêcheroit qu'on n'en fût blessé.

845. Le gas hydrogène s'enflamme aussi par une étincelle électrique, quoique très-petite.

846. Expérience. Dans le vase *a g* (*fig.* 122), que je suppose de métal et garni d'une tige recourbée aussi de métal *b c d*, qui enfile un tuyau de verre *a* mastiqué dans le couvercle du vase, afin de l'isoler, faites passer deux parties d'air athmosphérique et une partie de gas hydrogène : bouchez bien le goulot *g* avec un bon bouchon de liége ; présentez, à un corps actuellement électrisé, la petite boule de métal *b*. Il s'excitera une étincelle électrique entre cette boule et le corps électrisé (2579) : il s'en excitera une seconde entre la boule *d* et le bord du vase (2581). Ce sera cette seconde étincelle qui enflammera le gas. Comme l'explosion se fera dans un vaisseau fermé, la détonation sera très-violente, et le bouchon sera chassé avec assez de force pour blesser quelqu'un sur lequel

il porteroit : ce à quoi il faut bien prendre garde. Car si, comme l'a fait *Volta*, on adaptoit au goulot *g* de notre vase, un petit canon chargé d'une balle, le gas, en détonnant, la chasseroit avec assez de force pour, à la distance de 25 pas, percer une planche de chêne d'un pouce (27 millim.) d'épaisseur.

847. Le gas hydrogène est capable de décomposer l'acide sulfurique, et de le faire passer à l'état d'acide sulfureux; car sa base ou l'hydrogène, ayant avec l'oxigène plus d'affinité que n'en a le soufre, son hydrogène, dis-je, se combineroit avec une partie de l'oxigène de l'acide sulfurique, et le réduiroit par-là à l'état d'acide sulfureux, et cette combinaison formeroit de l'eau.

848. Nous avons dit (815) que le gas hydrogène s'exhale des mines, des eaux bourbeuses, des marais, des latrines, des cimetières, etc. Il est aisé de concevoir qu'il est la matière des feux follets qu'on voit au-dessus de ces endroits.

849. Sa légèreté (836) lui permet de s'élever assez haut dans l'athmosphère; et, comme il peut s'enflammer par une étincelle électrique (846), il est probable qu'il s'enflamme ainsi souvent dans les orages, et qu'il augmente alors la détonnation du tonnerre. Voilà sans doute pourquoi lo tonnerre est plus fréquent et plus fort dans certains lieux. Quand ce gas détonne ainsi, il brûle; alors sa base ou l'hydrogène se combinant avec l'oxigène de l'air, forme de l'eau qui tombe en pluie. En effet, dans les orages il y a souvent des pluies violentes et subites, après quelques coups de tonnerre.

850. Le gas hydrogène est devenu un fluide in-

téressant pour les physiciens, et sur-tout pour les aéronautes, depuis qu'on s'en est servi pour remplir les machines ou ballons aérostatiques. Sa légèreté spécifique (856) est la cause de l'ascension de ces ballons.

851. On a cherché aussi à le substituer à des matières combustibles, dans des rechauds et des lampes. *Neret* a donné la description d'un réchaud à gas hydrogène dans le Journal de Physique (*janvier* 1777). *Furstenberger*, physicien de Bâle, *Brander*, mécanicien d'Augsbourg, *Ehrmann*, démonstrateur de physique à Strasbourg, ont imaginé des lampes à gas hydrogène, que l'on peut allumer la nuit par le moyen d'une étincelle électrique. Mais il faut prendre bien des précautions pour empêcher qu'il ne s'introduise dans la lampe de l'air athmosphérique, qui occasionneroit une vive détonnation et la rupture du vaisseau, au grand danger des assistans.

852. Enfin, on en fait des feux d'artifice fort agréables sans fumée et sans bruit, en en remplissant des vessies garnies de robinets de cuivre (*fig.* 123), et en en introduisant, à l'aide de ces vessies, dans les tubes cylindriques différemment contournés, et percés d'un grand nombre de très-petites ouvertures. En pressant ces vessies plus ou moins fort, suivant le besoin, le gas hydrogène passe dans les tubes, sort par toutes les ouvertures qui y sont pratiquées, et on l'enflamme avec une bougie allumée; après quoi il continue de brûler jusqu'à ce que, fermant les robinets, on en interrompe le cours. Personne n'a fait des choses plus agréables dans ce genre, que *Diller*, démonstrateur de physique à la Haye : ses feux d'artifice présentent

différentes figures, soit immobiles, soit mobiles; et sont ornés de plusieurs couleurs; et ce qu'il y a d'agréable, c'est qu'il n'y a aucun danger à craindre, parce que les gas qu'il emploie ne sont pas détonnans. La flamme blanche est produite par le gas hydrogène extrait par le charbon de terre. Le mélange de partie égale d'air athmosphérique avec ce gas, produit la couleur bleue. Le gas hydrogène pur fournit le rouge; et si l'on y mêle, en soufflant, du gas expiré, qui est du gas acide carbonique et du gas azotique (669), il y ajoute une teinte de bleu.

853. Il est certain maintenant que le gas hydrogène est une substance d'une nature déterminée, toujours la même, et dont il n'y a qu'une seule espèce; et dans la combinaison de laquelle il entre une grande quantité de calorique qui y est peu lié, et presque dans l'état de feu libre. Mais cette espèce de gas peut se mêler avec d'autres substances, et en tenir quelques-unes en dissolution: c'est ce qui forme ses variétés dont nous allons parler.

12. *Gas hydrogène sulfuré.*

854. Le gas hydrogène sulfuré est celui qui tient du soufre en dissolution (621), et qui est connu sous le nom de *gas hépatique*. *Gengembre*, qui en a fait l'analyse, le regarde comme formé de gas hydrogène pur et de soufre très-divisé. C'est ce soufre qu'il tient en dissolution, qui lui donne ses caractères distinctifs.

855. On obtient ce gas des sulfures solides, en les décomposant par les acides affoiblis d'eau, dans des appareils pneumato-chymiques. Le sulfure s'empare

de l'oxigène de l'eau; et l'hydrogène, se combinant avec une partie du soufre et du calorique, forme ce gas.

856. Le gas hydrogène sulfuré a une odeur très-fétide.

857. J'ignore quelle est sa pesanteur spécifique; mais il est certainement beaucoup plus pesant que lo gas hydrogène pur; et il est soluble dans l'eau. C'est, sans doute, le soufre qui le rend ainsi soluble et plus pesant.

858. Ce gas a, comme les autres, la propriété de suffoquer les animaux. Il verdit le sirop de violettes.

859. L'air pur qu'on y mêle, le décompose par la combinaison de son oxigène avec l'hydrogène de ce gas; et, par-là, en fait précipiter le soufre. Par la même raison, il est décomposé de même, et son soufre précipité par l'acide nitreux, par l'acide sulfureux, et, dans certaines circonstances, par l'acide muriatique oxigéné; dans tous ces cas il y a de l'eau de formée.

860. Le gas hydrogène sulfuré s'allume par le contact des corps enflammés, et même par l'étincelle électrique. Il brûle avec une flamme d'un bleu rougeâtre; et, en brûlant, il dépose, sur les parois des vases qui le contiennent, du soufre, lequel ne peut pas brûler par la petite chaleur suffisante pour brûler le gas.

861. C'est le gas hydrogène sulfuré qui minéralise les eaux sulfureuses, telles que les eaux d'Enghien, de Bonnes, de Baredge, de Cauterestz, etc.

13. *Gas hydrogène phosphoré.*

862. Le gas hydrogène phosphoré est celui qui tient du phosphore en dissolution (622). Il a été découvert par *Gengembre*, qui l'a obtenu en faisant bouillir une lessive de potasse avec moitié de son poids de phosphore coupé en petits morceaux; et en recevant le fluide aériforme, qui s'en est dégagé, dans des cloches pleines de mercure.

863. On ne pourroit pas le recueillir sur l'eau, parce qu'il y est très-soluble. C'est, sans doute, le phosphore qui lui donne cette solubilité dans l'eau.

864. Le gas hydrogène phosphoré a une odeur très-fétide.

865. Il suffoque les animaux.

866. Il s'enflamme par le seul contact de l'air, en produisant une explosion qui seroit très-forte et peut-être même dangereuse, si l'on en présentoit à l'air une trop grande quantité à-la-fois : il n'en faut présenter que fort peu; une bulle, a-peu-près grosse comme une aveline, suffit. C'est le phosphore que ce gas tient en dissolution, qui s'allumant par le contact de l'air, communique son inflammation au gas. Pendant qu'il brûle, il en part une fumée qui, dans l'air calme, forme une espèce de couronne circulaire qui augmente de diamètre en s'élevant. Cette fumée est de l'acide phosphorique (637) concret.

867. Expérience. Si, dans une cloche en partie pleine de gas hydrogène phosphoré, et placée sur l'appareil pneumato-chymique au mercure; on fait passer de l'air pur, le gas s'enflamme avec un éclat admirable; il brûle avec une très-grande rapidité,

en produisant une épaisse fumée blanche : et il s'excite une chaleur et une raréfaction si considérables, que la cloche se brise, si elle n'est pas de verre très-épais.

14. *Gas hydrogène carboné.*

868. Le gas hydrogène carboné est celui qui tient du carbone en dissolution (623).

869. On sait aujourd'hui que le charbon, quoique très-fixe dans des vaisseaux fermés et aux feux ordinaires, contient cependant un principe charbonneux (appelé *carbone*), susceptible d'être réduit en vapeurs à l'aide d'une très-forte chaleur, et d'être dissous dans des fluides aériformes. Le gas hydrogène sur-tout jouit de la propriéte de dissoudre ainsi ce principe charbonneux. Il en entraîne donc souvent avec lui en prenant la forme gaseuse.

870. On obtient donc un gas hydrogène ainsi carboné, lorsqu'on fait agir, sur de la fonte de fer ou sur de l'acier, l'acide sulfurique affoibli avec de l'eau, parce que l'un et l'autre tiennent un peu de matière charbonneuse. La fonte de fer l'a absorbée dans les hauts fourneaux, et l'acier dans la cémentation : ce qui prouve bien que l'acier n'est pas un fer si pur que celui dont il a été formé.

871. Le gas hydrogène carboné est beaucoup plus pesant que le gas hydrogène pur. Ce n'est donc pas celui-là dont il faut se servir pour remplir les ballons aérostatiques : il seroit trop lourd, et exigeroit, dans le ballon, un trop grand volume.

872. On pourroit dissoudre immédiatement du carbone dans du gas hydrogène, en faisant tomber,

dans le milieu d'une cloche pleine de ce gas, le foyer d'un verre ardent sur du charbon flottant au-dessus du mercure, qu'on suppose au fond de la cloche. De cette manière on auroit un gas hydrogène carboné.

873. Le gas hydrogène carboné brûle avec une flamme bleue; et lance, pendant sa combustion, de petites étincelles blanches ou rougeâtres.

15. *Gas hydrogène carbonique.*

874. Le gas hydrogène carbonique est celui qui est simplement mêlé de gas acide carbonique (735) mais sans combinaison (624).

875. On l'obtient par la distillation de beaucoup de matières végétales, et en particulier du tartrite acidule de potasse et de tous les sels tartatreux, des sels acéteux, des bois durs, du charbon de terre, du charbon qui brûle à l'aide de l'eau, etc.

876. Le gas hydrogène carbonique brûle assez difficilement; cependant, quoique le mélange fût composé de trois parties de gas acide carbonique et d'une partie seulement de gas hydrogène pur, cela ne le feroit pas cesser d'être inflammable.

877. On peut séparer le gas hydrogène du gas acide carbonique qui lui est mêlé, par l'eau de chaux et par les alkalis, avec lesquels le gas acide carbonique se combine.

878. On peut faire artificiellement du gas hydrogène carbonique, en mêlant du gas hydrogène pur avec du gas acide carbonique, en telle proportion qu'on voudra : ce qui prouve que ce gas n'est ni une espèce praticulière, ni même une variété du

gas hydrogène; ce n'est qu'un simple mélange de deux gas.

16. *Gas hydrogène des marais.*

879. Le gas hydrogène des marais, appelé, par *Volta*, *air* ou *gas inflammable des marais*, est celui qui est simplement mèlé avec de la mofette ou gas azotique (625).

880. Il se dégage des eaux bourbeuses des marais, des mares, des étangs, des égouts, des latrines, et de tous les lieux où des matières animales pourrissent dans l'eau. Il est donc le produit de la putréfaction de quelques matières végétales, et de presque toutes les substances animales.

881. Il n'est qu'un simple mélange, et sans combinaison, du gas hydrogène pur (832) et du gas azotique (673). Car de la combinaison de ces deux fluides il résulteroit du gas ammoniacal (807), qui seroit soluble dans l'eau (805); et le gas hydrogène des marais ne l'est pas. C'est à *Bertholet*, de l'Académie de Sciences, qu'on doit la connoissance exacte de ce gas.

882. Le gas hydrogène des marais brûle avec une flamme bleue.

883. Il ne détonne que difficilement avec l'air pur. Lorsqu'on l'a fait détonner dans l'eudiomètre de *Volta*, on a trouvé des gouttes d'eau, et un résidu de gas azotique plus ou moins pur. L'eau résulte de la combinaison de l'hydrogène du gas avec l'oxigène de l'air pur; et la mofetté ou azote demeure sous la forme gaseuse.

Pour comparer aisément les pesanteurs spécifiques

des fluides élastiques, je place ici, sous un coup-d'œil, toutes celles qui sont connues.

884. *Pesanteurs spécifiques des fluides élastiques, comparées à celle de l'Air.*

Air athmosphérique.	100,00.
Air pur ou gas oxigène.	108,35.
Gas azotique.	96,31.
Gas nitreux.	105,35.
Gas acide carbonique.	150,60.
Gas acide muriatique.	172,71.
Gas acide sulfureux.	205,13.
Gas ammoniacal.	52,87.
Gas hydrogène pur.	8,02.

885. *Pesanteurs spécifiques des fluides élastiques, comparées à celle de l'Eau.*

Eau distillée.	10000,0000.
Air athmosphérique.	12,3609.
Air pur ou gas oxigène.	13,3929.
Gas azotique.	11,9048.
Gas nitreux.	13,0179.
Gas acide carbonique.	18,6161.
Gas acide muriatique.	21,3482.
Gas acide sulfureux.	25,3929.
Gas ammoniacal.	6,5357.
Gas hydrogène pur.	0,9911.

CHAPITRE

CHAPITRE XI.

Des Propriétés de l'Air.

886. Nous avons vu ci-dessus (643 *et suiv.*) quelle est la nature de l'air. Nous avons prouvé qu'il est un mélange de deux fluides élastiques, dont l'un (l'air pur ou gas oxigène (647)) ne compose qu'environ le quart de son volume; et l'autre (le gas azotique (673)) en compose environ les trois quarts. Le premier de ces fluides est le seul propre à l'entretien de la vie des hommes et des animaux (662), et à la combustion des corps (664): le second, s'il étoit seul, nous suffoqueroit très-promptement, et éteindroit subitement les corps enflammés qu'on y plongeroit (683). Il est vrai que si nous respirions le prémier seul et sans mélange, il pourroit aussi nous faire périr assez vîte, par la chaleur ardente qu'il imprimeroit à tout notre être (663). Admirons donc la Providence dans la composition et le mélange du fluide qu'elle nous a donné à respirer. Cet air si pur, et si propre à l'entretien de la vie, peut être comparé aux liqueurs spiritueuses, qui sont bonnes en elles-mêmes, mais dont il faut user sobrement.

887. L'air environne de toutes parts le globe terrestre, et lui sert, en quelque manière, d'enveloppe. C'est cette enveloppe que l'on appelle *atmosphère*. Nous devons donc considérer l'air sous deux différens rapports : 1°. en lui-même; 2°. comme formant l'atmosphère. En cette dernière qualité, l'air a des propriétés qu'il n'a pas lorsqu'on n'en considère qu'une

portion, et qu'on fait abstraction de ce qui s'y mêle d'étranger.

L'air considéré en lui-même.

888. L'air est, comme tous les autres fluides permanens de cette espèce (590), pesant, compressible, élastique, transparent, sans couleur, invisible et incondensable en liqueur par le froid.

889. Il ne devient jamais partie constituante d'aucun corps; mais ses bases (610); savoir, l'oxigène et l'azote, entrent dans la composition d'un grand nombre : l'oxigène entre dans la composition de tous les acides, de tous les oxides, etc. et l'azote dans celle des animaux et de quelques végétaux, pourvu que ces bases cessent d'être combinées avec le calorique.

890. Tant qu'elles demeurent ainsi combinées, elles forment un fluide, qui ne cesse jamais de l'être : et cette fluidité est causée par l'élasticité, qui tend toujours à dilater la masse, et qui conserve la mobilité respective des parties. Si l'air n'étoit que compressible, il pourroit former un corps dur, comme le fait la neige fortement pressée.

891. L'air adhère assez fortement à la surface des corps. Il est aisé de s'en convaincre. Qu'on mette de l'eau dans un vase qu'on fait chauffer; la couche d'air adhérente aux parois du vase, et qui se trouve alors entre l'eau et ces parois, y devient sensible par sa raréfaction (22), causée par la chaleur. Elle deviendroit de même sensible dans le vide, par sa dilatation (39) occasionnée par son ressort.

892. Nous avons prouvé ci-devant (301) que l'*air est un fluide pesant.* Il ne s'agit plus que de savoir

quelle est sa pesanteur spécifique. Cette pesanteur est le poids que pèse un corps sous un volume connu et déterminé, comme, par exemple, un mètre cube ou un pied cube (331). Un moyen simple, et, à mon avis, le plus sûr, de connoître la pesanteur spécifique de l'air, est le suivant.

893. Il faut se munir d'un matras (*fig.* 124) d'une capacité un peu grande, comme, par exemple, d'environ 20 litres, garni d'un robinet R. Cela fait, on cherche à connoître les quare choses suivantes : 1°. le poids de ce matras vidé d'air : 2°. le poids de l'eau distillée qu'il peut contenir : 3°. le poids de l'air qu'il peut contenir : 4°. la capacité de ce matras.

Pour acquérir ces quatre connoissances, il faut, 1°. peser avec une excellente balance le matras bien sec et plein d'air : supposons qu'il pèse 1 kiliogramme 003 grammes 674 milligrammes (2 livres 0 once 6 gros 32,32 gr.).

2°. Peser dans un vase une certaine quantité d'eau distillée ; supposons 25 kiliogrammes (51 livres 1 once 1 gros, 14,75 gr.).

3°. Remplir le matras de cette eau.

4°. Peser le reste de l'eau ; supposons que le poids de ce reste soit 5 kiliogrammes 023 grammes 778 m.gm. (10 livres 4 onces 1 gros 47,422 gr.). Donc l'eau contenue dans le matras pèse 19 kiliogrammes 976 grammes 222 milligrammes (40 livres 12 onces 7 gros 39,328 gr.)

5°. Il faut peser le matras plein de cette eau ; supposons qu'il pèse 20 kiliogrammes 954 grammes 514 milligrammes (42 liv. 12 on. 7 Gr. 25,778 gr.). D'où, ôtant 19 ki-

liogrammes 976 grammes 222 milligrammes ($\overset{\text{liv.}}{40}$ $\overset{\text{on.}}{12}$ $\overset{\text{Gr.}}{7}$ $\overset{\text{gr.}}{39,328}$), poids de l'eau que contient le matras, il reste 978 grammes 292 milligrammes ($\overset{\text{liv.}}{1}$ $\overset{\text{on.}}{15}$ $\overset{\text{Gr.}}{7}$ $\overset{\text{gr.}}{58,45}$) pour le poids du matras vide de toute substance.

6°. Du poids du matras plein d'air, que nous avons trouvé ci-dessus être 1 kiliogramme 003 grammes 674 milligrammes ($\overset{\text{liv.}}{2}$ $\overset{\text{on}}{0}$ $\overset{\text{Gr.}}{6}$ $\overset{\text{gr.}}{32,32}$), ôtez 978 grammes 292 milligrammes ($\overset{\text{liv.}}{1}$ $\overset{\text{on.}}{15}$ $\overset{\text{Gr.}}{7}$ $\overset{\text{gr.}}{58,45}$), poids du matras vide, reste, pour le poids de l'air que contient le matras, 25 grammes $\overset{\text{m. gm.}}{382}$ (6 gros $\overset{\text{gr.}}{45,87}$).

7°. Il nous reste à connoître la capacité du matras. Le poids d'un décimètre cube ou d'un litre d'eau distillée, pesé dans l'air, à 5 degrés au-dessus de la température de la glace, est 998 grammes $\overset{\text{m.gm.}}{683,922}$ (2 livres 0 onces 5 gros $\overset{\text{gr.}}{10,372}$).

Si l'on divise maintenant le poids de l'eau contenue

dans le matras. . . . . $\overset{\text{m.gm.}}{19976222}$

par le poids du litre d'eau. 998683,922

on aura au quotient 20,6, qui est le nombre de litres qui exprime la capacité du matras. Donc cette capacité est de $\overset{\text{lit.}}{20,6}$.

RÉSUMÉ.

1°. Le poids du matras vide d'air est		$\overset{\text{m.gm.}}{978292}$
2°. Le poids de l'eau qu'il contient		19976222
3°. Le poids de l'air qu'il contient		25382
4°. La capacité du matras.		20 litres 6

dixièmes.

En divisant $\overset{\text{m.gm.}}{25382}$, poids de l'air du matras,
par. . . . . . $\underline{20,6}$ nombre de litres,
on a pour quotient $\overset{\text{m.gm.}}{1231,9025}$. Le litre d'air pèse donc $\overset{\text{m.gm.}}{1231,9025}$ ($\overset{\text{gr.}}{23,1932}$) ; et le kiliolitre, ou mètre cube d'air pèse $\overset{\text{m.gm.}}{1231902,5}$ (2 livres 8 onces 2 gros $\overset{\text{gr.}}{9,2}$).

Si l'on veut le comparer au poids du mètre cube d'eau, qui est $\overset{\text{m gm.}}{998683922}$, on fera cette proportion : $1231902,5 : 998683922 :: 1 : x = 810,6$. Le poids de l'air est donc à celui de l'eau, à très-peu de chose près, comme 1 est à 810,6.

894. Ces expériences ont été faites, le baromètre étant à 28 pouces, et le thermomètre à 5 degrés au-dessus de zéro.

895. Tous les fluides élastiques, dont nous avons parlé dans le Chapitre X, ont été pesés par les mêmes moyens. Et pour en remplir le matras, sans mélange d'autres substances, on fait passer ces fluides l'un après l'autre, sous une grande cloche de verre (*fig.* 125), ouverte et garnie par le haut d'une virole de cuivre B et d'un robinet C, et placée sur la tablette EF (*fig.* 112) de l'appareil pneumato-chymique. Ensuite, en adaptant le matras, bien vidé d'air, à cette cloche, en vissant le robinet R du matras au robinet C de la cloche, et ouvrant les robinets, le matras se remplit du fluide que contient la cloche.

896. Puisque l'air est un fluide pesant, on ne doit pas être surpris de sentir une pression très-forte sur la main, que l'on tient placée sur l'ouverture supérieure d'un récipient, dans lequel on fait le vide par le moyen d'une machine pneumatique. Car sitôt que

l'air du récipient a été dilaté par l'action de la machine, il n'est plus capable de soutenir la pression de l'air extérieur, comme il l'auroit été s'il n'avoit pas changé de densité (912). C'est donc la prépondérance de la pression de l'air extérieur qui attache la main au récipient; et cette pression est d'autant plus considérable, que l'ouverture du récipient est plus grande, parce qu'alors la colonne d'air a une plus large base (294).

897. Mais ce qui devroit surprendre, c'est que cette pression de l'air n'écrase pas les grands récipiens, dans lesquels on a fait un vide approchant du parfait : car la pression de l'air sur ces récipiens égale le poids d'une colonne de mercure, qui auroit pour base la largeur des récipiens, et pour hauteur environ 28 pouces (758 millimètres) (301). Or, c'est un poids énorme à faire soutenir par un vase de verre. Ce qui les garantit de cet accident, est leur figure arrondie en forme de cylindre (*fig.* 126) ou de voûte (*fig.* 127). La seule inspection de ces figures fait voir que la surface extérieure est plus grande que l'intérieure : toutes les parties qui composent l'épaisseur, ressemblent donc à celles dont on fait les cintres; ce sont autant de coins ou de pyramides tronquées, qui se soutiennent mutuellement contre la pression qui les pousse vers un axe ou un centre commun. La vérité de ce que nous avançons est clairement prouvée par l'expérience suivante.

898. EXPÉRIENCE. Appliquez à la machine pneumatique un récipient ouvert de part et d'autre (*fig.* 128), et couvert d'une vessie mouillée, afin qu'elle s'y applique et le bouche bien par-dessus. A mesure que vous ferez agir la pompe pour vider le récipient,

le poids de l'air extérieur fera prendre à cette vessie tendue la forme d'une calotte renversée; et après quelques coups de piston, elle crevera avec éclat. Avant que la pompe agisse, le ressort de l'air intérieur fait équilibre à la pression extérieure (912); mais à mesure qu'on diminue la force de ce ressort, en diminuant la densité de l'air du récipient, l'excès de force de la pression extérieure pousse la vessie en dedans, et la fait enfin crever. Si, au lieu de vessie, on mettoit sur le récipient une plaque mince de plomb ou de verre, avec un cuir interposé pour bien boucher, la plaque de plomb seroit enfoncée dans le récipient, ou la plaque de verre seroit brisée en pièces. Un récipient de toute autre figure que la ronde, seroit brisé de même. Combien de fois n'est-il pas arrivé à des chasseurs, qui portent du vin dans des bouteilles plates garnies d'osier, de casser leurs bouteilles en les portant à la bouche à demi-pleines, et en suçant pour boire? La succion dilate l'air intérieur; et le poids de l'air extérieur agissant sur les deux côtés plats, les porte l'un vers l'autre, et casse le vase. C'est cette pression de l'air extérieur qui fait adhérer les récipiens bien dressés à la platine de la machine pneumatique.

899. *L'air est un fluide compressible.* Il se comprime par son propre poids; de sorte que dans un lieu bas il est plus comprimé et a plus de densité que dans un lieu élevé. On pourroit le comparer à cet égard à des cardes de laine ou de coton : supposons qu'on en fasse cinq ou six cents, toutes de même longueur, de même largeur, de même épaisseur, et de même poids; qu'on les place toutes les unes sur les autres; on conçoit aisément que celle de des-

sous sera chargée du poids de toutes les autres; qu'en conséquence elle sera applatie; elle aura un moindre volume avec la même masse, et par conséquent plus de densité. La densité de la carde qui seroit au-dessus, seroit un peu moindre, parce qu'elle seroit un peu moins chargée : et ainsi des autres, à mesure qu'on les considéreroit dans des places plus élevées. Il en est ainsi des différentes couches d'air, placées les unes au-dessus des autres, comme nous le prouverons ci-après (959). Mais il n'en est pas de même de l'eau, par exemple, qui n'est point ou presque point compressible (27) : les différentes portions de la même masse d'eau ont la même densité dans toute son épaisseur.

900. Mais quels rapports gardent entr'elles la condensation de l'air et la force qui le comprime? *Boyle* et *Mariotte* ont imaginé une expérience qui répond à cette question. La voici : E F G (*fig.* 129) est un tuyau de verre recourbé en forme de siphon, dont la plus longue branche *d* E a environ 2600 millimètres (8 pieds de longueur), et la plus courte 325 millimètres (12 pouces), à compter de *d* en G. La partie *d* G doit être parfaitement cylindrique, et d'un diamètre bien égal d'un bout à l'autre, afin que des longueurs égales donnent des capacités semblables. Le tuyau est ouvert en E, et fermé hermétiquement en G; et il est solidement attaché sur une forte planche, divisée en pouces et en lignes de *d* en E et de *d* en G. Cet instrument étant placé verticalement, on y fait couler un peu de mercure, de manière que le coude *h* F *d* en soit rempli. Avant d'y faire passer le mercure, le tuyau étoit rempli d'un air comprimé par le poids de l'atmosphère (899), lequel poids est égal

à celui d'une colonne de mercure de 758 millimètres (28 pouces) (301). En mettant du mercure dans le coude *d*, on divise cet air en deux portions, dont une E *d* est encore exposée à la pression de l'atmosphère, avec laquelle elle communique ; et l'autre *d* G doit être considérée comme un ressort précédemment tendu par le poids de l'atmosphère.

901. Maintenant, si dans la longue branche on ajoute du mercure, de manière qu'il y en ait 379 milimètres (14 pouces) au-dessus de son niveau dans la courte branche, on aura augmenté d'un tiers la pression qui a lieu sur la colonne d'air *d* G; et cette colonne sera diminuée d'un tiers, c'est-à-dire, que de 325 millimètres (12 pouces), elle sera réduite à 216 $\frac{1}{2}$ millimètres (8 pouces). Si on en ajoute 758 millimètres (28 pouces), on aura doublé la pression, et la colonne sera diminuée de moitié, et réduite à 162 $\frac{1}{2}$ millimètres (6 pouces). Si on ajoute 1516 millimètres (56 pouces), on aura triplé la pression, et la colonne sera diminuée de deux tiers, et réduite à 108 $\frac{1}{4}$ millimètres (4 pouces). Si on en ajoute 2274 millimètres (84 pouces), on aura quadruplé la pression; et la colonne sera diminuée des trois quarts, et réduite à 81 millimètres (3 pouces).

902. On doit conclure de là, que *l'air comprimé diminue de volume dans le même rapport dans lequel la compression augmente.* Et comme la diminution du volume est une vraie condensation (23), il suit de là, que *l'air se condense en raison directe des poids dont il est chargé.*

903. Il est cependant très-probable que cette proportion n'a pas lieu dans les degrés extrêmes, car

on ne connoît aucun corps qui puisse être comprimé à l'infini. Il y a apparence qu'il existe un terme au-delà duquel l'air ne pourroit plus être comprimé, quelle que fût la force qu'on y appliquât. Mais on ignore quel est ce terme. Il paroît par les expériences que *Boyle* a faites, qu'il a, par compression, réduit l'air à la 13e. partie de son volume. D'autres ont été beaucoup plus loin : sur-tout *Hales* (*Statique des Végét. Append. pag.* 389), qui, en comprimant l'air par une force égale à 37 fois le poids de l'atmosphère, dit l'avoir réduit à la 38e. partie de son volume; et plus bas (*pag.* 392), il prétend l'avoir réduit à la 1838e. partie de son volume; de sorte que, par cette compression, il seroit devenu plus de deux fois aussi dense que l'eau, ce qui est bien difficile à croire. En effet, la conséquence qu'il tire de son expérience est bien hasardée; car il calcule la force qui a été nécessaire pour faire crever la bombe dont il s'est servi pour cette expérience, et en conséquence la force qui a comprimé l'air; il calcule, dis-je, ces forces d'après celle qui s'est trouvée nécessaire pour faire rompre un fil de fer de 3,4 m.mt. ($1\frac{1}{2}$ ligne) de diamètre. Mais ce fil étoit de fer battu et très-doux, et sa bombe étoit de fer fondu et très-aigre : or, ce dernier fer oppose à sa rupture une résistance de beaucoup inférieure à celle qu'y oppose le fer doux. De plus, le tuyau qui contenoit l'air s'est trouvé cassé en plusieurs morceaux; on n'a donc pas pu apprendre, par cette expérience, jusqu'à quel point l'air a été condensé : et quand la force qu'il a employée auroit eu toute l'intensité qu'il prétendoit, il a pu se faire que l'air, condensé jusqu'à un certain point, ait cessé de céder à la pression.

904. *Amontons* a pensé que cette condensation de l'air pouvoit encore aller plus loin que ne l'a cru *Hales*. Car il a prétendu (*Mém. de l'Acad. an.* 1703, *pag.* 104), d'après la règle établie ci-dessus (902), que la partie inférieure d'une colonne d'air, prolongée de 19 lieues vers le centre de la terre, auroit, à cette profondeur, une densité égale à celle de l'or.

905. *L'air est un fluide élastique*, et son élasticité tend toujours à dilater sa masse. Supposons une vessie bien bouchée, et ne contenant qu'une petite quantité d'air. Tant que cette vessie sera exposée à la pression de l'atmosphère, elle demeurera dans son état, de manière que l'air qu'elle contient sera de même densité que celle de l'air extérieur.

906. Mais si l'on place cette vessie sous le récipient de la machine pneumatique, et qu'on y fasse le vide, à mesure que, par le jeu de la pompe, on diminuera la densité et la pression de l'air qui environne la vessie, l'air qu'elle contient se dilatera et la fera renfler; et cela d'autant plus que la densité de l'air du récipient sera plus diminuée : donc l'élasticité de l'air tend toujours à dilater sa masse.

907. Il en est de la dilatation de l'air, comme de sa condensation. On ignore jusqu'à quel point elle peut aller. Selon *Musschenbroëk* et *Mariotte*, l'air qui est proche de la surface de la terre et exposé à la pression de l'atmosphère, peut se dilater, si l'on fait cesser cette pression, jusqu'à occuper un espace 4000 fois plus grand que celui qu'il occupoit.

908. *Boyle*, par plusieurs expériences successives, l'a dilaté une première fois jusqu'à lui faire occuper un espace 9 fois plus considérable qu'auparavant;

ensuite il lui a fait prendre un volume 31 fois plus grand; après cela 60 fois; puis 150 fois; enfin 8000 fois; puis 10000 fois; et en dernier lieu 13679 fois, et cela par la seule force de son ressort : de sorte que le volume d'une masse d'air comprimée par le poids de l'atmosphère, seroit au volume de la même masse d'air dilatée autant qu'elle pourroit l'être par son ressort dans le vide, comme 1 est à 13679. Mais peut-on beaucoup compter sur l'exactitude de ces résultats? j'en doute très-fort.

909. *L'élasticité de l'air est parfaite;* c'est-à-dire, que si une masse d'air a été comprimée par une force quelconque, et qu'ensuite cette force cesse d'agir, la masse d'air se rétablit, 1°. complètement; elle reprend précisément le même volume qu'elle avoit avant la compression : 2°. elle se rétablit avec la même promptitude que celle avec laquelle elle a été comprimée. C'est en quoi consiste l'élasticité parfaite (33). Si donc l'on comprime une vessie pleine d'air, sitôt qu'on fera cesser la compression, la vessie se rétablira dans son premier état, et cela avec autant de prestesse que celle avec laquelle elle aura été comprimée.

910. Non-seulement l'élasticité de l'air est parfaite, mais *elle est inaltérable.* Ni la force, ni la durée de la compression n'altère en aucune manière le ressort de l'air : avec quelque force qu'il soit comprimé, qnelque long-temps qu'on le laisse en cet état, si la cause qui le comprime vient ensuite à cesser d'agir, il se rétablit toujours aussi parfaitement qu'il l'auroit fait, si on lui en eût donné la liberté un instant après la compression. *De Roberval* a gardé, pendant quinze ans, de l'air comprimé dans

une canne à vent; et après ce long intervalle de temps, l'air a montré autant de force de ressort qu'il a coutume d'en avoir en pareil cas; car il a chassé une balle aussi loin, qu'il l'auroit fait dans le premier jour de sa compression.

911. Le ressort de l'air est d'autant plus actif, que l'air a plus de densité : son rassort augmente donc à mesure que sa densité augmente, et cela dans le même rapport : de sorte que *le ressort de l'air égale toujours et fait équilibre à la puissance qui le comprime :* et par sa réaction, il peut produire le même effet que produiroit cette puissance. Dans un vase à large ouverture LL (*fig.* 150), plongez la partie inférieure d'un baromètre KM, dans lequel je suppose le mercure à 758 millimètres (28 pouces). Supposons de plus la température de l'air à 15 degrés. Ensuite fermez exactement le vase avec un bouchon, au travers duquel passeront le tube et la planche du baromètre, de manière qu'il n'y ait aucune communication entre l'air du dedans et celui du dehors : faites aussi en sorte que la densité de l'air intérieur ne change pas pendant cette manipulation. Lorsque le vase sera fermé, le mercure se tiendra encore à 758 millimètres (28 pouces) : et, toutes les fois que vous rappellerez le tout à la même température de 15 degrés, cet effet sera toujours le même, quelque long-temps que dure l'expérience, même pendant un grand nombre d'années.

912. Avant qu'on ferme le vase, l'air qu'il contient communiquant avec celui du dehors, fait encore partie de l'athmosphère, agit comme pesant sur le réservoir du baromètre, et soutient le mercure à 758 millimètres (28 pouces). Sitôt que le vase est

bouché, cette même masse d'air n'a plus que son propre poids, qui est bien peu de chose; mais elle a été comprimée par le poids de l'atmosphère, et elle a conservé sa densité : et par sa réaction, qui égale ce poids (112), elle soutient encore le mercure à 758 millimètres (28 pouces). Donc, 1°. le ressort de l'air est égal à la puissance qui le comprime : 2°. ce ressort est inaltérable (910); il ne s'affoiblit point par succession de temps, puisque le même effet a toujours lieu, quelque long-temps qu'on tienne la même masse d'air en expérience.

913. Les hémisphères de Magdebourg, imaginés par *Otto-de-Guerike*, bourgmestre de Magdebourg, prouvent encore la pression et le ressort de l'air. Ces hémisphères sont deux demi-sphères concaves de cuivre A, B (*fig.* 131), dont l'un est garni d'un robinet B, par lequel il peut s'ajuster à la machine pneumatique; et l'autre porte un anneau A au milieu de sa convexité, pour être facilement suspendu. On joint ensemble ces deux hémisphères pour en former un espèce de globe; et afin de rendre leur jonction plus facile et plus exacte, l'un des deux B a ses bords garnis d'un anneau plat *b b*, dont la largeur excède autant en dedans qu'en dehors, et l'on met, sur cet anneau, un autre anneau de cuir mouillé, sur lequel s'appliquent les bords de l'autre hémisphère A, qu'on a eu soin de bien dresser. Tout étant ainsi disposé, et le robinet B étant adapté à la vis qui est au centre de la platine de la machine pneumatique, pour séparer ces deux hémisphères, il ne faut que vaincre le poids de l'hémisphère supérieur A, parce que l'air qui est entr'eux fait, par son ressort, équilibre à la pression de l'air extérieur (911). Mais

si, ayant ouvert le robinet B, on fait jouer la pompe, et que, par ce moyen, on ôte l'air qui est entre les deux hémisphères, et qui contrebalance la pression de l'air extérieur, on ne peut plus séparer les hémisphères qu'avec une grande force. Qu'on ferme le robinet B, et qu'on détache les hémisphères de la machine pneumatique : qu'on les supende à un point fixe A, et qu'on y attache des poids P, comme on le voit *fig.* 132 ; pour que ces poids puissent les séparer l'un de l'autre, il faut qu'ils soient d'autant plus considérables, que le diamètre des hémisphères est plus grand, et qu'on les a plus exactement vidés d'air. Si les hémisphères avoient 162 millimètres (6 pouces) de diamètre, et qu'on eût fait entr'eux un vide parfait, il faudroit, pour les séparer, au moins 213 kiliogrammes (436 livres.)

914. Cet effet ne peut être attribué qu'à la pression de l'air exterieur, qui n'est plus contrebalancée par le ressort de l'air intérieur des hémisphères, lequel est d'autant plus diminué, qu'on a diminué davantage sa densité. La preuve en est que, si, en ouvrant le robinet B, on laisse rentrer l'air entre les deux hémisphères, ils se séparent par le moindre effort. Le ressort de l'air intérieur étant équivalent à la pression de l'air extérieur (911), ces deux forces se détruisent mutuellement, ou plutôt se font équilibre ; et il suffit de vaincre le poids de l'un des deux hémisphères, pour le séparer de l'autre.

915. Cela se prouve encore plus clairement en mettant ces hémisphères, vidés d'air, sous un récipient de la machine pneumatique (*fig.* 133), et en diminuant la densité de l'air du récipient autant qu'on a diminué celle de l'air de l'intérieur des hé-

misphères : alors on les sépare aisément, en soulevant un peu l'anneau A qui tient accroché l'hémisphère supérieur. Et si, en les appliquant de nouveau l'un à l'autre, on fait en sorte que l'air puisse rentrer sous le récipient, sans rentrer entre les hémisphères, ils se trouvent attachés de nouveau l'un à l'autre, et aussi fortement qu'ils l'étoient auparavant : ce qui prouve bien que c'est la pression de l'air extérieur qui cause leur adhérence.

916. C'est en conséquence de ces principes que le vide se fait par le moyen de la machine pneumatique. Quand on a appliqué un récipient sur la platine, comme nous avons dit (913), qu'on applique l'hémisphère supérieur sur l'inférieur, et qu'on fait descendre le piston d'un bout à l'autre de la pompe, on fait naître un espace sans air, dans lequel celui du récipient ne manque pas de s'étendre en vertu de son élasticité (905), et devient, par-là, moins dense qu'il ne l'étoit. La pression de l'air extérieur attache donc le récipient à la platine, et d'autant plus fortement qu'on a diminué davantage la densité de l'air du récipient.

917. La dilatation de l'air du récipient suit, à chaque coup de piston, le rapport des capacités du récipient et de la pompe. Si la capacité du récipient est double de celle de la pompe, au premier coup de piston il passera dans la pompe un tiers de l'air du récipient ; et par conséquent la densité de cet air sera diminuée d'un tiers : au second coup de piston, il passera encore un tiers des deux tiers qui restent : au troisième, quatrième, centième, etc. coup de piston, il ne passera jamais dans la pompe qu'un tiers de l'air qui reste dans le récipient ; car la densité de cet air diminue

diminue toujours en proportion géométrique, et non pas arithmétique. Il restera donc toujours dans le récipient les deux tiers du dernier reste. D'où il suit qu'une machine pneumatique, quelque parfaite qu'elle puisse être ne peut jamais produire un vide parfait. On aura une preuve de ceci, si l'on adapte, à la machine pneumatique, un récipient dans lequel plonge la partie inférieure d'un baromètre. Supposons que le mercure soit, dans ce baromètre, à 751 millimètres (27 pouces 9 lignes), et que la capacité du récipient soit double de celle de la pompe, au premier coup de piston, le mercure s'abaissera de 250 $\frac{3}{9}$ millimètres (9 pouces 3 lignes), tiers de 751 millimètres (27 pouces 9 lignes), et se fixera à 500 $\frac{6}{9}$ millimètres (18 pouces 6 lignes) : au second coup de piston, il s'abaissera de 166 $\frac{8}{9}$ millimètres (6 pouces 2 lignes), tiers de 500 $\frac{6}{9}$ millimètres (18 pouces 6 lignes), et se fixera à 333 $\frac{7}{9}$ millimètres (12 pouces 4 lignes), et ainsi de suite. Donc la densité de l'air diminuera dans le même rapport ; car la hauteur de la colonne de mercure est toujours proportionnelle à la densité de l'air qui la soutient, et par conséquent à son ressort : car son ressort augmente ou diminue comme sa densité (911).

918. On peut donc, par le moyen d'un baromètre, connoître les différens degrés de dilatation ou de densité de l'air d'un récipient, dans lequel on a fait en partie le vide.

919. Nous avons dit ci-dessus (911) que le ressort de l'air est d'autant plus actif, que l'air a plus de densité : l'expérience précédente (917) en est une preuve. On en a encore la preuve dans le *fusil à vent*, arme que tout le monde connoît. On sait que,

par son moyen, on chasse une balle d'autant plus fortement et d'autant plus loin, qu'on a condensé davantage l'air du réservoir du fusil.

920. La fontaine de compression fournit encore une preuve de l'activité du ressort de l'air fortement condensé. On appelle *fontaine de compression*, un vase d'où l'on fait jaillir l'eau au-dessus de son niveau, par le ressort de l'air fortement condensé. Cette fontaine est composée d'un vaisseau de cuivre A B (*fig.* 134), auquel on donne telle forme que l'on veut, par exemple, celle d'une poire, portée sur un pied C D. On y joint un canal N O, ouvert de part et d'autre, garni d'un robinet R, qui s'ajuste à vis au vaisseau, et dont le bout inférieur O descend à 2 $\frac{1}{4}$ millimètres (une ligne) près du fond. Pour mettre cette fontaine en jeu, on la remplit d'eau environ jusqu'aux deux tiers de sa capacité, par exemple, jusqu'en A B, et cela par l'endroit où se visse le canal N O. On remet ce canal en sa place : on dévisse le petit ajutage N, et l'on met à sa place la petite pompe foulante P Q (*fig.* 135), avec laquelle on fait entrer à force beaucoup d'air : après quoi, le robinet R (*fig.* 134) étant fermé, on ôte la pompe pour visser en sa place l'ajutage percé d'un ou plusieurs trous. Il faut remarquer que la pompe (*fig.* 135) reçoit l'air par un trou pratiqué vers P, au-dessus duquel on élève le piston; et ce même piston, en descendant, le force de passer par un petit trou pratiqué au fond, et sur lequel on a mis en dehors une soupape, pour empêcher que l'air ou l'eau revienne dans la pompe, quand on élève de nouveau le piston.

921. L'air ainsi poussé par le piston, traverse donc le canal N O (*fig.* 134), et ensuite, par sa légè-

reté respective, traverse l'eau, et va se joindre à l'air qui occupe la place ANB, dont il augmente d'autant la densité. Cet air, ainsi comprimé, dont le ressort égale toujours la puissance qui le comprime (911), a donc une force élastique de beaucoup supérieure à la pression de l'air extérieur, qui résiste à l'orifice N du canal. Cette force se déploie sur la surface A B de l'eau, et la force de monter par le canal O N, avec d'autant plus de vîtesse qu'il y a plus de différence entre la densité de l'air qui est renfermé dans le vaisseau, et celle de l'air extérieur.

922. Lorsqu'on a fortement comprimé l'air en A N B, dès qu'on ouvre le robinet R, l'eau sort en forme de jet, qui monte d'abord à la hauteur d'environ 9 ou 10 mètres (27 ou 30 pieds); mais comme cet air, qui chasse l'eau, augmente de volume, et par conséquent diminue de densité à mesure que le vaisseau se vide, son ressort s'affoiblit de plus en plus et dans le même rapport (911); et par cette raison, le jet en devient toujours de moins en moins élevé.

923. On peut employer utilement à l'élévation de l'eau le ressort de l'air comprimé par une colonne d'eau. *Héron* d'Alexandrie, qui vivoit cent vingt ans avant Jésus-Christ, a le premier employé ce moyen, comme on peut le voir par sa fontaine, qui est composée de deux boîtes de métal AB, EF (*fig.* 136), auxquelles on donne telle forme que l'on veut, et qui sont réunies par des tuyaux de même matière CD, IK, ML, et surmontées d'un bassin GH; le tout porté sur un pied quelconque. Le bassin G H communique à la boîte supérieure A B par le tuyau CD, ouvert en D, et qui porte en C un ajutage qu'on y visse au besoin; lequel tuyau, se vissant au fond

du bassin, peut s'ôter et se remettre en place, selon que cela est nécessaire. Le même bassin G H communique à la boîte inférieure E F par le tuyau I K, ouvert aux deux bouts, et qui se rend jusque vers le fond de la boîte. Enfin les deux boîtes communiquent ensemble par le tuyau M L, aussi ouvert aux deux bouts, et qui traverse la boîte supérieure A B dans presque toute sa hauteur. Pour mettre cette fontaine en jeu, on emplit d'eau, jusqu'aux trois quarts, la boîte supérieure A B, en devissant le tuyau C D, qu'on remet ensuite à sa place. Après quoi on met de l'eau dans le bassin G H, de manière à en tenir toujours plein le tuyau I K.

924. Cette colonne d'eau, qui tend à se répandre dans la boîte inférieure E F, comprime par son poids la masse d'air dont elle est remplie. Cet air, ainsi comprimé, s'échappe par le tuyan L M, et va déployer son ressort sur la surface A B de l'eau qui est dans la boîte supérieure : enfin cette eau, comprimée par le ressort de l'air, s'échappe en forme de jet par le tuyau D C, à l'extrémité C duquel on place l'ajutage, qu'on peut percer, si l'on veut, de plusieurs trous pour former une gerbe d'eau.

925. On voit que, de cette manière-là, l'eau de la boîte supérieure A B passe dans le bassin G H, et va de ce bassin dans la boîte inférieure E F, en entretenant toujours plein le tuyau I K. Après l'opération, on vide la boîte inférieure par le robinet R qui est dessous.

926. Il est aisé de concevoir qu'au lieu de former un jet, on pourroit, par le même moyen, élever de l'eau à une certaine hauteur, suivant les circons-

tances. Pour cela, il faut avoir un lieu élevé, à mi-côté duquel se trouve une source un peu abondante. Des deux boîtes, qu'on pourroit faire en bois et godronnées, on placera la supérieure un peu au-dessous de la source, par le moyen de laquelle on lui fournira de l'eau, qui sera celle qu'on voudra élever; et dans le bas, on placera la boîte inférieure. On fera communiquer les deux boîtes par des tuyaux, comme nous l'avons indiqué ci-dessus (923); et au lieu du tuyau DC, qui porte l'ajutage, on mettra à sa place un tuyau montant, qui aura une hauteur un peu moindre que la distance perpendiculaire qui se trouve entre les deux boîtes. Ce tuyau montant étant bien vissé à la boîte, on laissera couler la source, de manière à tenir toujours plein le tuyau analogue au tuyau IK. On voit qu'ainsi l'eau de la boîte supérieure, au lieu de s'élever en forme de jet, se portera par le tuyau montant à la hauteur où l'on veut l'élever. On pourroit par là élever la quatrième ou cinquième partie de l'eau que fournit la source. Quand l'eau de la boîte supérieure est portée dans le haut, on y en remet de nouvelle; et l'on va vider celle qui est passée dans la boîte inférieure. Ensuite, en laissant couler la source sur l'ouverture du tuyau IK, le jeu de la machine recommence.

927. On se sert encore du ressort de l'air pour rendre continu l'écoulement d'une pompe qui n'a qu'un piston, comme nous l'avons expliqué ci-devant (428 et 429), en parlant de la pompe d'incendie.

928. La chaleur, appliquée à une masse d'air, produit sur elle un de ces deux effets: 1°. elle en augmente le volume, si ce volume est libre de s'étendre: 2°. si la masse d'air est retenue par des obstacles, de

manière que son volume ne puisse pas s'étendre, la chaleur en augmente le ressort, et cela d'autant plus que la pression qu'éprouve la masse d'air est plus grande.

929. 1°. *La chaleur augmente le volume de l'air*, si ce volume est libre de s'étendre. Pour vous en assurer, prenez un tube de verre d'environ 6 décimètres de long, dont le diamètre intérieur soit bien égal dans toute sa longueur, afin que des longueurs égales donnent des capacités semblables, et que ce tube soit scellé hermétiquement par un bout. Plongez ce tube de toute sa hauteur, le bout ouvert en en-haut, dans de l'eau bouillante, faisant ensorte qu'il n'entre aucune humidité dans son intérieur. Quelques momens après, retirez le tube de l'eau, et plongez son bout ouvert dans du mercure un peu chaud, afin qu'il ne fasse pas casser le tube : tenez-le ainsi quelque temps dans une situation presque horizontale. A mesure que le tout se refroidira, on verra le mercure passer dans le tube. Pour avoir un second terme de température fixe, entourez de glace pilée la portion du tube qui contient l'air. Lorsqu'elle sera refroidie au terme de la glace, le tiers de la longueur du tube sera rempli de mercure, et les deux tiers seront pleins d'air. Et si l'on faisoit passer de nouveau le tube à la chaleur de l'eau bouillante, l'air, qui n'en remplit que les deux tiers, le rempliroit tout entier. Donc, 1°. *la chaleur augmente le volume de l'air*; donc, 2°. *un volume d'air, comprimé par le poids de l'atmosphère, et condensé par le froid de la glace, est au volume du même air, raréfié par la chaleur de l'eau bouillante, comme 2 est à 3.* Si la chaleur étoit double de celle de l'eau bouillante, alors le volume de

l'air condensé par la glace seroit au volume du même air raréfié par cette chaleur, comme 1 est à 3, etc.

930. Ces résultats sont susceptibles de quelques variations, suivant la hauteur du mercure dans le baromètre, c'est-à-dire, suivant la valeur de la pression de l'atmosphère pendant l'expérience (305). Les variations seroient beaucoup plus grandes, si l'on employoit un air humide; ce qu'il faut éviter le plus qu'on pourra

931. Il suit de là, que si l'on chauffe un vase plein d'air, il s'en vide en partie. C'est le moyen que l'on prend quand on veut faire passer une liqueur dans un vase qui n'a qu'une très-petite ouverture, à laquelle on ne peut pas mettre un entonnoir. En chauffant le vase, on raréfie l'air qu'il contient, et par-là on lui en fait perdre une partie. Ensuite on plonge l'orifice dans la liqueur; à mesure que l'air intérieur se condense en se refroidissant, la pression de l'air extérieur y porte la liqueur.

932. 2°. *La chaleur augmente le ressort de l'air, a proportion de la pression qu'il éprouve*, si son volume ne peut pas s'étendre. Supposons un tube de verre AB (*fig.* 137) de 13 à 14 décimètres de long, qui ait intérieurement au plus 2 millimètres de diamètre, recourbé en DBC, et terminé par une boule creuse et mince C, qui ait environ 12 centimètres de diamètre. On fixe ce tube sur une planche AD graduée en millimètres. On y fait couler du mercure autant qu'il en faut pour remplir la courbure, de manière que, l'instrument étant posé verticalement, le mercure se trouve de niveau dans l'une et l'autre branche, suivant la ligne ponctuée DC. On voit bien qu'il faut pour cela que l'air de la boule

soit de même densité que l'air extérieur dont il soutient la pression (905). Supposons que, dans le temps de l'expérience, cette pression soit égale à celle d'une colonne de mercure de 758 millimètres (28 pouces). Si l'on plonge dans l'eau bouillante la partie inférieure de l'instrument, de manière que la boule C en soit entièrement couverte, le mercure s'élève dans la longue branche de 252 $\frac{2}{3}$ millimètres (9 pouces 4 lignes) au-dessus de son niveau. Or 252 $\frac{2}{3}$ millimètres (9 pouces 4 lignes) sont le tiers de 758 millimètres (28 pouces). Si, après avoir laissé refroidir le tout, on ajoute dans la longue branche une colonne de mercure de 758 millimètres (28 pouces) au-dessus de son niveau, on aura doublé la pression qu'éprouve l'air de la boule, et par conséquent sa densité (901). Que l'on plonge de nouveau la boule dans l'eau bouillante, le mercure s'élèvera de 505 $\frac{1}{3}$ millimètres (18 pouces 8 lignes) au-dessus du point où il étoit avant l'immersion, lesquels 505 $\frac{1}{3}$ millimètres (18 pouces 8 lignes) sont le tiers de 1516 millimètres (56 pouces), mesure de la pression de l'air de la boule. De sorte que cet air fait alors, par son ressort, équilibre à une puissance égale au poids de 2021 $\frac{2}{4}$ millimètres (74 pouces 8 lignes) de mercure; savoir, au poids de l'atmosphère égal à 758 millimètres (28 pouces) de mercure, au poids des 758 millimètres (28 pouces) ajoutés, et au poids des 505 $\frac{1}{3}$ millimètres (18 pouces 8 lignes) soulevés. Donc, 1°. *la chaleur augmente le ressort de l'air.* Donc, 2°. *la chaleur de l'eau bouillante augmente le ressort de l'air d'une quantité égale au tiers de la pression qu'il éprouve*, puisque quand il éprouve une pression double, son ressort est augmenté d'une quantité double. Si l'on appliquoit à cet

air une chaleur double de celle de l'eau bouillante, son ressort seroit augmenté d'une quantité égale aux deux tiers de la pression qu'il éprouveroit, etc.

933. Dans ces expériences, il s'en faut de quelques petites choses que le mercure ne s'élève aux hauteurs que nous avons indiquées. Cela vient de ce que le volume de l'air de la boule s'étend un peu, pour deux raisons : 1°. parce que le mercure qui s'élève dans la longue branche, est pris aux dépens de celui qui est dans la courte; ce qui laisse à l'air de la boule un peu de place pour s'étendre : 2°. parce que, comme nous le verrons ci-après (1155), la capacité de la boule devient plus grande dans l'eau chaude. La densité de son air diminue donc un peu; c'est pourquoi la force de son ressort n'est pas tout-à-fait autant augmentée qu'elle le seroit sans cela. Mais la différence est très-peu de chose.

934. Il suit de ce que nous venons de dire ci-dessus (932), que *le ressort d'une même masse d'air augmente de quantités différentes, suivant les différens degrés de chaleur auxquels elle se trouve exposée.* C'est sur ce principe qu'est fondée la construction du thermomètre d'air d'*Amontons*, qui est le premier où les degrés de chaleur se soient rapportés à un terme connu. (*Mémoires de l'Académie*, année 1702, page 155).

935. Il est aisé maintenant de sentir la raison pour laquelle l'air d'une chambre échauffée par un poêle, quoique raréfié par la chaleur, fait cependant équilibre à la pression de l'atmosphère. Cela vient de ce que la chaleur, qui diminue la densité de l'air, augmente en même temps son ressort, et l'augmentation

de l'un compense la diminution de l'autre. On en a la preuve dans la Mongolfière.

936. *L'air atmosphérique est non-seulement le fluide essentiel à l'entretien de la vie des hommes et des animaux, mais il est encore le plus approprié à cette fonction.* Nous avons fait voir ci-dessus (643) que l'air de l'atmosphère est composé d'une partie d'un fluide essentiel à la respiration des hommes et des animaux, et de trois parties d'une mofette, qui, si elle étoit seule, seroit capable de les suffoquer. Nous avons prouvé de plus (662) que cette partie essentielle à la respiration, et qui est l'air pur ou vital, est la seule qui y soit propre, parce que sa base (l'*oxigène*) ayant une très-grande affinité avec une matière charbonneuse qui se trouve dans le sang et les poumons, se combine très-aisément avec elle, et par-là abandonne une portion de la grande quantité de calorique qui entre dans sa composition, lequel calorique demeure pour l'entretien de la vie, à laquelle il est essentiel. Les bases des autres fluides élastiques ne jouissant point de cette grande affinité avec le carbone, n'abandonnent point ainsi leur calorique, et ne peuvent par conséquent servir à l'entretien de la vie. Donc l'*air pur est le seul propre à cette fonction.* Nous avons fait voir aussi (663) que cet air pur, si propre à l'entretien de la vie, si nous le respirions seul, pourroit nous la faire perdre en assez peu de temps, à cause de la trop grande quantité de calorique dont il imprégneroit tout notre être; ce qui pourroit nous causer une fièvre ardente, et occasionner une inflammation aux poumons. Il nous est donc essentiel de respirer de l'air pur; mais il ne faut pas qu'il soit trop abondant. Il faut que son acti-

vité soit tempérée par un autre fluide qui n'abandonne pas, comme lui, son calorique; de même que nous tempérons, par le moyen de l'eau, la force des liqueurs spiritueuses. Or ce fluide est le gas azotique (675), qui compose environ les trois quarts de l'air atmosphérique, et qui non-seulement sert à tempérer l'activité de l'air pur, mais dont la base (l'*azote*) entre dans la composition des chairs, et sert à les animaliser (676). De tout ce que nous venons de dire, il suit, ce que nous avons avancé, que l'*air atmosphérique est non-seulement le fluide essentiel à l'entretien de la vie des hommes et des animaux, mais qu'il est encore le plus approprié à cette fonction.*

937. Il ne doit donc pas être étonnant que lorsqu'on met un animal sous un récipient appliqué à la machine pneumatique, et qu'on y fait le vide, cet animal périsse. On le prive du fluide qui peut seul lui fournir le principe de la vie.

938. Tous les animaux ne périssent pas dans le vide aussi promptement les uns que les autres. Les uns, tels que ceux qui ont deux ventricules au cœur, comme les hommes, les quadrupèdes, les oiseaux, et probablement les cétacées, y périssent au bout de quelques minutes. Les autres, tels que ceux qui n'ont qu'un ventricule au cœur, comme les reptiles et les poissons, soutiennent, sans périr, un vide de plusieurs heures. Sans doute que les premiers ont besoin d'une quantité de calorique beaucoup plus considérable que n'en exigent les seconds.

939. Dans le vide, à la privation de l'air se joint une autre cause qui y fait périr les animaux plus promptement qu'ils ne feroient sans cela. C'est la

dilatation de l'air logé dans les différentes cavités du corps, ainsi que celle de l'air qui se trouve dans les pores des fluides. Cet air, n'étant plus soumis à la pression de l'atmosphère, se dilate par la force de son ressort (905), distend, s'il ne trouve pas d'issue, les parties qui le contiennent, et souvent les déchire. On a souvent trouvé des vaisseaux rompus dans la poitrine des animaux qui étoient restés quelque temps dans le vide. Il arrive aussi quelquefois aux animaux qu'on tient dans le vide, d'avoir des nausées, et de se vider par le haut et par le bas : car l'air de l'estomac et des intestins, venant à se dilater, chasse devant lui les alimens non digérés et les excrémens qui lui ferment le passage. C'est cette dilatation qui vide la vessie natatoire des poissons.

940. Les animaux qui vivent toujours dans l'eau, ont besoin d'air comme les autres. Aussi les poissons savent-ils s'approprier celui qui est disséminé dans l'eau; et ils s'élancent souvent à la surface, pour en prendre de nouveau et en plus grande quantité. S'ils meurent dans les étangs sous la glace, il n'est pas douteux que c'est faute d'air; car ils ne périssent pas, si l'on a soin de rompre en quelque endroit les glaçons. Dans des circonstances semblables, les animaux n'ont pas à craindre la dilatation de l'air logé dans les différentes cavités de leurs corps (939), parce qu'ils demeurent exposés à la pression de l'atmosphère. Quand la privation d'air n'est pas d'une trop longue durée, on peut encore les rappeler à la vie : c'est ce qui arrive souvent à l'égard des noyés et de ceux qui ne sont que simplement asphixiés.

941. *L'air qui a servi un certain temps à la respiration, n'est plus propre à l'entretien de la vie.*

Car, comme nous l'avons dit ci-dessus (662), l'air pur, qui est la seule portion de l'atmosphère qui y soit propre, se décompose dans la poitrine, et s'y change en gas acide carbonique (735), qui est un fluide suffoquant. C'est pourquoi, quand on se trouve plusieurs personnes renfermées dans un lieu étroit et trop exactement clos, peu de temps après on y respire mal à son aise, si l'on n'a pas soin d'ouvrir, pour prendre de nouvel air. Il est même assez commun de trouver sa respiration gênée, dans des lieux même vastes et ouverts de plusieurs côtés, lorsqu'il s'y trouve beaucoup de monde rassemblé, et plusieurs lumières; car chaque personne use une portion d'air assez considérable en peu de temps, et chaque lumière en use à-peu-près autant qu'un homme. Il est donc bon de renouveler, le plus qu'on peut, l'air que l'on respire. On en a fourni plusieurs moyens, parmi lesquels on peut choisir.

942. *L'air, et principalement l'air pur, est essentiel à la combustion des corps;* de sorte que les matières les plus combustibles ne peuvent s'enflammer qu'en contact avec l'air; et celles qui sont déjà enflammées, s'éteignent promptement, si elles manquent d'air. Cela vient de ce que, comme nous l'avons dit ci-devant (664), la combustion n'est autre chose qu'une combinaison de l'oxigène (base de l'air pur) avec le corps combustible. Si cet oxigène manque, la combustion ne peut donc pas avoir lieu. Voilà pourquoi tous les corps combustibles, ou ne s'enflamment pas, ou s'éteignent promptement dans le vide d'air. Ces mêmes corps ne s'enflamment jamais, ou s'éteignent subitement s'ils sont déjà embrasés, lorsqu'on les plonge dans quelques-uns des fluides élastiques,

autres que l'air pur ou l'air atmosphérique (671 *et s.*). Encore, dans ce dernier, n'y a-t-il que l'air pur, qui en fait environ le quart, qui soit propre à la combustion (643). Lorsque ce quart est usé, le corps qui y brûloit s'éteint, si l'air ne se renouvelle pas : aussi fait-on cesser un incendie, si le lieu où il a commencé peut être bouché de toutes parts, pourvu cependant que ses parois soient assez fortes pour résister aux efforts des vapeurs produites par le commencement de l'incendie.

943. *L'air se loge dans les pores de presque toutes les substances*, sur-tout dans ceux qui sont les plus ouverts, et vers la surface. Il y a quatre moyens d'extraire l'air ainsi logé dans les pores des corps. Le premier est de les faire chauffer fortement; le second est de les faire refroidir considérablement; le troisième est de les tenir pendant quelque temps dans le vide d'air; le quatrième est de les dissoudre dans quelques menstrues.

944. 1°. En chauffant un corps, on fait sortir, au moins en grande partie, l'air qui est logé dans ses pores. La chaleur augmente le volume de l'air (929); ce volume augmenté ne peut être contenu dans les pores, qui n'ont pas augmenté en capacité proportionnellement à la raréfaction de l'air : il faut donc qu'il en sorte une grande partie. En effet, on voit et l'on entend sortir l'air des viandes et des fruits qu'on fait cuire, du bois qu'on fait brûler, des liqueurs qu'on fait bouillir. Dans ce dernier cas, on voit l'air qui, en se raréfiant par la chaleur, se forme en bulles au milieu de la liqueur, la traverse, et vient sortir à sa surface.

945. 2°. En faisant refroidir considérablement un corps, on fait sortir une partie de l'air qui est logé dans ses pores. Tous les corps qui se refroidissent se condensent; leurs parties se rapprochent les unes des autres (23): cela ne peut pas arriver sans que les interstices, qui se trouvent entre leurs parties, deviennent plus petits, sans que leurs pores se retrécissent; ce qui oblige une partie de l'air qui y étoit contenu d'en sortir, comme on fait sortir l'eau des pores d'une éponge mouillée, lorsqu'on en rapproche les parties en la pressant.

946. 3°. L'air qui est logé dans les pores des corps, s'en dégage lorsqu'on tient ces corps pendant quelque temps dans le vide. Mettez dans un vase de verre plein d'eau claire différens corps, tels qu'un morceau de bois, une pierre tendre, ou tout autre corps solide et fort poreux, de manière qu'ils soient entièrement plongés; placez ce vase sur la platine de la machine puenmatique, et le couvrez d'un récipient. A mesure que vous ferez agir la pompe, pour tirer l'air du récipient, vous verrez sortir du corps plongé une grande quantité de bulles d'air, qui traversent l'eau, vont crever à sa surface, et se mêler à l'air qui reste dans le récipient. Donc l'air se dégage alors des pores.

947. L'air qui est dans les pores des corps, est aussi dense que celui de l'atmosphère, puisqu'il en soutient la pression (900). Sitôt qu'on le débarrasse d'une partie de cette pression, en le tenant dans le vide, il se dilate par la force de son ressort (905), et sort des pores en quantité d'autant plus grande, qu'on approche davantage du vide par-

fait, comme on le voit, en l'obligeant de traverser de l'eau; car s'il passoit immédiatement dans l'air du récipient, on ne le verroit pas. Cet air qui sort des pores, prend toujours la forme de globules sphériques : c'est ce qui arrive à tout fluice qui est pressé également dans tous les sens par un autre fluide.

948. Tant que ce corps demeure dans le vide, la petite portion d'air dilaté qui est demeurée dans ses pores, soutient par son ressort la pression de l'eau qui entoure le corps. Mais sitôt qu'on laisse réagir la pression de l'athmosphère, en faisant rentrer l'air sous le récipient, cet air dilaté se condense de nouveau, et cette nouvelle pression fait entrer, dans les pores, de l'eau à la place de l'air qui en est sorti; de sorte que le corps s'en trouve imbibé souvent jusqu'au centre.

949. L'air se dégage aussi des pores des liqueurs que l'on tient quelque temps dans le vide. Mettez différentes liqueurs sous un récipient, et y faites le vide. A mesure que vous tirerez l'air du récipient, celui qui est dans les pores de la liqueur se réunira en bulles, qui augmenteront en nombre et en grandeur, et qui traverseront la liqueur souvent avec assez de rapidité pour en soulever une portion, de manière à faire paroître une ébullition assez semblable à celle qui est produite par l'action du feu. C'est ce qui arrive, lorsque la liqueur est facile à diviser, tels que le sont l'esprit-de-vin et l'eau. Mais lorsque la liqueur est visqueuse, comme la bière, les bulles d'air, ne pouvant crever leurs enveloppes, emportent, en s'élevant, la liqueur en forme de mousse. C'est toujours, comme ci-dessus (947), en supprimant la pression de l'atmosphère, qu'on donne lieu à

à l'air qui est dans les pores de la liqueur, de se dégager.

950. 4°. L'air qui est logé dans les pores des corps s'en dégage, lorsqu'on fait dissoudre ces corps dans quelques menstrues. Les molécules du corps à dissoudre, désunies et subdivisées par le dissolvant, laissent libres et isolées les particules d'air qu'elles renfermoient entr'elles : ces particules s'échappent donc avec facilité. C'est ce que l'on voit aisément, si l'on couvre, d'un vase plein d'eau, du sel ou du sucre : on voit, pendant presque tout le temps de la dissolution, les bules d'air s'élever au haut du vase; et quelquefois leur volume égale presque celui du sel ou du sucre qu'on a fait dissoudre.

951. Les Anciens, lorsqu'ils ont décomposé les corps par distillation, fermentation ou combustion, ont cru en extraire des quantités considérables d'air, et dont le volume, quoique soumis à la pression de l'atmosphère, surpassoit un très-grand nombre de fois celui des corps mis en expérience. Ils étoient dans l'erreur. 1°. Souvent ces fluides n'étoient point de l'air; c'étoient quelques-uns des fluides élastiques, dont nous avons traité ci-devant, *Chapitre X*. 2°. Ces fluides n'étoient point contenus dans les substances qui paroissoient les fournir; il n'y avoit que leurs bases (609) qui, en se combinant avec la matière de la chaleur ou le calorique, prenoient l'apparence aériforme.

952. Lorsqu'on a fait sortir l'air des pores d'un corps, si on l'expose de nouveau à l'air libre, il reprend plus ou moins promptement ce qu'il a perdu. *Mariotte* (*Essai sur la nat. et les prop. de l'air*,

pag. 163) s'est assuré de ce fait par une expérience fort simple. Après avoir purgé d'air une certaine quantité d'eau, 1°. en la faisant bouillir (944); 2°. en la tenant pendant quelque temps dans le vide (946); il en remplit une petite fiole, et la renversa, le goulot en en-bas, dans un vase plein de la même eau, ayant auparavant eu soin de faire passer dans le haut de la fiole une bulle d'air de la grosseur d'une aveline. Peu à peu il vit diminuer de grosseur cette bulle d'air, qui disparut enfin tout-à-fait au bout d'environs trois jours: ce qui prouve évidemment que cette bulle d'air s'étoit insinuée peu à peu dans les pores de cette eau, qui se trouvoient vides de sa propre substance. Il est probable qu'il en arrive autant à toute autre matière, avec seulement des variétés dans la quantité d'air rentré, et dans le temps qu'il met à y rentrer. On conçoit aisément qu'un corps purgé d'air, et exposé de nouveau à l'air libre, doit être considéré comme une éponge qu'on a fortement pressée, et qu'on applique ensuite à la surface d'une liqueur. On sait qu'en pareil cas la liqueur s'insinue dans les pores de l'éponge: de même l'air, aidé surtout par la pression de l'atmosphère, s'insinue dans les pores du corps qui en est purgé.

L'Air considéré comme atmosphère terrestre.

953. En quelqu'endroit que nous nous trouvions sur la terre, nous rencontrons de l'air par-tout; en quelque climat que ce soit, sur la cime des plus hautes montagnes, comme dans les plus profondes vallées. La terre est donc entièrement enveloppée d'air. C'est cette enveloppe qu'on appelle *atmosphère terrestre*,

qui pèse vers le centre de la terre et sur sa surface (301); qui est emportée avec elle, en participant à son mouvement diurne et à son mouvement annuel, qui a beaucoup de part au mécanisme de la Nature, par toutes les propriétés que nous allons détailler.

954. *L'atmosphère est un fluide mélangé d'une grande quantité de substances étrangères.* Quand nous n'aurions pas un grand nombre de faits propres à nous convaincre de cette vérité, le raisonnement seul suffiroit pour nous y conduire. Car c'est une opinion généralement reçue, que rien de tout ce qui a été créé ne s'anéantit; et cependant nous voyons tous les jours une infinité de substances se dissiper et disparoître à nos yeux. Que deviennent-elles, si elles ne passent pas dans l'air ? Les liqueurs qui s'évaporent quelquefois jusqu'à siccité; toutes les particules qui viennent continuellement frapper notre odorat en abandonnant les substances qui les fournissent; tout ce qui émane, soit en flamme, soit en fumée, des corps qui brûlent; en un mot, tout ce qui s'exhale de la terre et des eaux, des animaux et des plantes, entre dans l'atmosphère, et en forme un fluide chargé d'exhalaisons et de vapeurs. Et comme en tout temps et en tous lieux on ne rencontre pas toujours les mêmes substances, son état doit varier suivant les tems et les lieux.

955. Nous pouvons considérer l'atmosphère sous deux aspects différens: 1°. Comme un fluide en repos, du moins respectivement à nous; car ses parties sont dans un mouvement continuel, par la chaleur qui les raréfie, par le froid qui les condense, par les vents qui les font changer de place, etc. 2°. comme un fluide agité.

L'Atmosphère considérée comme un fluide en repos.

956. Nous avons prouvé ci-devant (301) que l'air est un fluide pesant : or, c'est l'air qui compose l'atmosphère ; donc l'*atmosphère est pesante.* Mais sa pesanteur est celle d'un fluide ou d'une liqueur ; *elle doit donc croître ou diminuer selon la hauteur perpendiculaire des colonnes, et selon la largeur de leur base* (294). C'est en effet suivant cette proportion qu'elle agit sur la terre et sur tous les corps qui sont à sa surface. On s'en est assuré par l'expérience suivante, imaginée par *Paschal*, et exécutée au *Puy-de-Dôme*, par *Perrier*, son beau-frère.

957. Nous avons fait voir (301) que c'est le poids de l'atmosphère qui soutient le mercure suspendu dans le tube de *Toricelli*, ou, ce qui est la même chose, dans le baromètre. *Perrier* porta donc le tube de *Toricelli*, fixé sur une planche graduée en pouces et en lignes, au Puy-de-Dôme ; et observa qu'à mesure qu'il s'élevoit vers le sommet de la montagne, le mercure s'abaissoit dans le tube ; et qu'au contraire il s'élevoit dans le tube, à mesure qu'il descendoit vers le pied de la montagne. La colonne de mercure, soutenne par le poids de l'atmosphère, étoit donc plus longue dans le bas que dans le haut. Or, quelque étendue qu'on suppose à l'atmosphère au-dessus de la surface de la terre, nous devons croire qu'elle forme autour de notre globe une enveloppe dont la superficie est uniforme et à-peu-près sphérique, puisque toutes ses parties tendent également vers le centre ; de même que la superficie de l'eau paroît plane, quelque figure qu'ait le fond du vase

qui la contient. Cela étant ainsi, les colonnes d'air, à compter depuis la superficie de l'atmosphère jusqu'à l'endroit où elles rencontrent la terre, seront plus ou moins longues selon le plus ou le moins d'élévation du lieu où elles aboutissent. Celles qui aboutissent au pied de la montagne sont donc plus longues, et par conséquent plus pesantes que celles qui aboutissent à son sommet : c'est pourquoi ces dernières soutiennent le mercure à une hauteur moindre que celle à laquelle le soutiennent les autres.

958. Pour savoir en quoi consiste ce plus ou ce moins, il faut choisir un lieu élevé et accessible, dont on puisse aisément mesurer la hauteur perpendiculaire, et cela à différentes stations. On a deux baromètres bien comparables entre eux : on en laisse un dans le bas, avec un observateur attentif à remarquer s'il n'arrive point quelque variation dans la hauteur du mercure, pendant qu'un autre observateur porte lentement l'autre baromètre vers le haut. A mesure que ce second observateur monte, le mercure s'abaisse dans le tube : à chaque fois que le mercure est abaissé d'une ligne, on mesure la hauteur perpendiculaire du lieu où se fait la station. Cette expérience ayant été faite plusieurs fois, en différens temps, en différens lieux, et par différens physiciens, la hauteur perpendiculaire de la colonne d'air répondante à 1 ligne (2,256 m.mt.) de mercure, s'est trouvée, par un terme moyen, d'environ 12 $\frac{1}{2}$ toises ou 75 pieds (24 mètres 563 millimètres). On suppose que la hauteur du baromètre laissé dans le bas n'a pas varié pendant l'expérience; car s'il s'y trouvoit quelque variation, cela prouveroit qu'il y en auroit eu dans la pression de

l'air, dont il faudroit tenir compte avant de déterminer le résultat.

959. Mais comme l'air de l'atmosphère est un fluide compressible, et qu'il se comprime par son propre poids (899), il est clair que l'*atmosphère n'a pas une densité uniforme dans toute son étendue*; que les couches supérieures, pesant sur les inférieures, doivent nécessairement resserrer et condenser de plus en plus ces dernières. Il suit de là que les colonnes d'air, répondantes à chaque ligne d'abaissement du mercure, doivent être d'autant plus longues, qu'elles sont prises à une plus grande distance de la surface de la terre. C'est en effet ce qu'on a observé; mais jusqu'à une hauteur de 1000 ou 1200 toises (environ 2200 mètres) au-dessus du niveau de la mer, les différences sont très-peu considérables : sans doute parce que la grande quantité de corps étrangers, dont l'air est chargé dans la région basse, et le grand poids qui le comprime, rendent sa densité presque uniforme. *Cassini*, *Maraldi*, et *de Chazelles*, après un grand nombre d'expériences qu'ils ont faites en différens temps et en différens lieux, sur diverses montagnes, dont ils avoient mesuré géométriquement les hauteurs, ont jugé que les différentes hauteurs perpendiculaires répondantes en montant à chaque ligne (2,256 m.mt.) d'abaissement du mercure dans le baromètre, croissent chacune d'un pied (325 millimètres). Mais ils ont pensé, avec beaucoup de vraisemblance, que cette proportion ne continue point au-delà d'une demi-lieue au-dessus du niveau de la mer; car, à cette distance de la surface de notre globe, l'air est beaucoup plus pur, son ressort est beaucoup plus

libre, et conséquemment ses différens degrés de densité ne dépendent presque plus que de la pression des couches supérieures.

960. Par le même procédé, on pourroit, par le moyen du baromètre, connoître, à peu de chose près, les hauteurs perpendiculaires des montagnes moyennes. Il faut toujours supposer qu'on sait à quelle hauteur est le baromètre au niveau de la mer pendant qu'on fait l'expérience; ou que l'on connoît l'élévation du lieu où se trouve le pied de la montagne dont on veut mesurer la hauteur. Nous venons de voir (958) qu'on peut compter, depuis le niveau de la mer jusqu'à une demi-lieue de hauteur, 12 ½ toises (24 mètres 363 millimètres) pour chaque ligne (2,256 m.mt.) de mercure, en ajoutant 1 pied (325 millimètres) pour la première, 2 (650 millimètres) pour la seconde, etc. (959). Si donc le pied de la montagne étoit au niveau de la mer, et que le baromètre s'y tînt à 28 pouces (758 millimètres) : si, au haut de la montagne, le baromètre n'étoit plus qu'à 23 pouces 6 lignes (636 millimètres), cela donneroit 4 pouces 6 lignes, ou 54 lignes (122 millimètres) de différence; ce qui donneroit pour la hauteur perpendiculaire de la montagne 5535 pieds, ou 922 ½ toises (1797 mètres 986 millimètres).

961. *De Luc* (*Essai sur les différentes modifications de l'atmosphère*) a donné une règle qui paroît plus sûre, pour mesurer la hauteur des montagnes par le moyen du baromètre. Il observe la hauteur du baromètre au bas et au haut du lieu dont il veut connoître la hauteur. Dans les Tables de Logarithmes, qu'on trouve toutes faites, il cherche ceux de ces

hauteurs du baromètre exprimées en lignes : *La différence de ces logarithmes donne, en millièmes de toise, la hauteur cherchée.* Ce moyen est, comme l'on voit, bien simple. Il faut pourtant y faire quelques corrections. La chaleur, qui raréfie tous les corps, et qui varie presque à chaque instant, fait que, pour des pressions semblables, la colonne de mercure du baromètre peut être plus ou moins longue, suivant le degré de température dont elle est affectée. *De Luc* a regardé comme terme moyen de cette température, pour le mercure, celui de 10 degrés au-dessus de zéro du thermomètre ordinaire. Il a donc fait, pour corriger la hauteur de son baromètre, un thermomètre dont le zéro est placé à ces 10 degrés, et qui, de là jusqu'au degré de l'eau bouillante, est divisé en 84. Chaque degré, en plus ou en moins, de ce thermomère, vaut $\frac{1}{16}$ de ligne de mercure, qu'il faut retrancher ou ajouter aux hauteurs observées du baromètre, avant d'en prendre les logarithmes. De même le plus ou le moins de chaleur fait que des colonnes d'air de même poids peuvent être plus ou moins longues : pour les ramener toutes à une longueur constante, il a construit un autre thermomètre propre à corriger la température de l'air. Ce thermomètre a son zéro placé à 16 $\frac{3}{4}$ degrés du thermomètre ordinaire; et de là jusqu'au degré de l'eau bouillante, il est divisé en 147, et en 59 jusqu'au terme de la glace. C'est avec cet instrument qu'il détermine la température de l'air au bas et au haut du lieu dont il veut connoître la hauteur. Ces deux températures une fois observées, il les additionne ; et en prend la moitié; c'est cette moitié qu'il appelle le degré moyen du thermomètre. Si l'une de ces tempé-

ratures est au-dessus du zéro et l'autre au-dessous, il retranche le terme le plus foible du plus fort, et le reste de la soustraction est le degré moyen. Toutes ces corrections étant faites, il multiplie la différence des logarithmes par le double du degré moyen du thermomètre, et divise le produit par 1000. En nommant *a* la hauteur corrigée du lieu, *b* la différence des logarithmes, et *c* le degré moyen du thermomètre, on exprime le tout par cette formule $b \pm \frac{b \times 2c}{1000} = a$. La vraie hauteur du lieu est donc la différence des logarithmes, plus ou moins le quotient de cette division; plus ce quotient, si le degré moyen du thermomètre est positif, et moins ce quotient, si ce degré est négatif.

962. Si l'on est curieux de connoître la correspondance des deux thermomètres dont nous venons de parler, avec le thermomètre ordinaire, on la trouvera dans mon *Dictionnaire de Physique*, pl. 34. Le thermomètre ordinaire est sous le n°. I, et les deux autres sont sous les n°s. XII et XIII.

963. La hauteur jusqu'à laquelle s'étend l'atmosphère au-dessus de la surface de la terre, seroit une connoissance intéressante pour nous. Les physiciens se sont donné beaucoup de peine pour la déterminer. Cela eût été facile par le moyen du baromètre, si l'air de l'atmosphère étoit de la même densité dans toute son étendue; mais cela n'est pas (959). Cela ne seroit pas même difficile, si nous connoissions suivant quelle progression l'air se dilate à mesure qu'il s'éloigne de la surface de la terre, et qu'il est moins chargé; mais nous venons de voir (959) que nous n'avons cette connoissance, qui n'est même qu'un à-peu-

près, que jusqu'à la hauteur d'environ une demi-lieue au-dessus du niveau de la mer. Les hauteurs du mercure dans le baromètre, observées au pied et au sommet des montagnes, ne peuvent donc pas nous donner la hauteur de l'atmosphère, puisque ces observations ne peuvent se faire que dans la partie inférieure, et que nous ignorons quelle est la densité de l'air dans la partie supérieure. C'est ce qui a engagé *de la Hire* (*Mémoires de l'Académie*, année 1713, pag. 54), d'après une idée de *Kepler*, à se servir d'une méthode plus simple et plus sûre. Cette méthode est fondée sur l'observation des crépuscules (1976). Tous les astronomes conviennent que le crépuscule commence le matin, lorsque le centre du soleil n'est plus qu'à 18 degrés au-dessous de l'horizon, ces 18 degrés pris sur un cercle vertical; et qu'il finit le soir, lorsque le centre du soleil est abaissé de cette quantité. Dans ce cas-là, le rayon solaire, ayant sa direction de bas en haut, va toucher obliquement la surface supérieure de l'atmosphère, et en s'y réfractant arrive jusqu'à la terre. Si l'atmosphère étoit moins haute qu'elle n'est, il faudroit que le soleil fût moins abaissé que 18 degrés au-dessous de l'horizon, pour que le crépuscule commençât; et au contraire, si elle étoit plus haute, le crépuscule commenceroit, le centre du soleil étant plus bas que 18 degrés. Il y a donc un rapport nécessaire entre la durée des crépuscules et la hauteur de l'atmosphère. C'est d'après la recherche de ce rapport que *de la Hire* a conclu avec vraisemblance cette hauteur d'environ 16 lieues. (Voyez *le Mémoire de* de la Hire, *cité ci-dessus.*) Il est cependant probable que l'air s'étend à une plus grande hauteur; mais qu'en même temps il a,

au-dessus de 16 lieues, trop peu de densité pour réfracter sensiblement la lumière.

964. Le poids de la colonne de mercure soutenue dans le baromètre par celui de la colonne d'air qui y répond (301), pouvant nous apprendre au juste quelle est la valeur de la pression de l'atmosphère sur une portion donnée de la surface de la terre, on a cherché à connoître par-là quel est le poids total de l'atmosphère. Mais après bien des calculs, cette connoissance a paru très-difficile et même impossible à acquérir, car elle en exige de préliminaires, que nous n'avons point. Il faudroit, 1°. connoître exactement l'étendue de la surface de la terre; connoissance qu'on n'a point, parce que la terre n'est pas parfaitement ronde (213); 2°. il faudroit tenir compte de la hauteur de ses inégalités, sans quoi on trouveroit le poids total plus grand qu'il n'est; 3°. connoître les différens degrés de densité de l'air dans les différens climats et dans les différentes parties de l'atmosphère (963); 4°. avoir égard aux effets de la force centrifuge, qui résulte du mouvement de rotation de la terre sur son axe, et qui diminue les effets de la pesanteur, mais pas également dans tous les lieux (212). On voit combien il seroit difficile de saisir exactement tous ces élémens. Aussi a-t-on abandonné cette question, qui heureusement n'est que de pure curiosité.

965. Il est plus intéressant pour nous de connoître quelle est la pression de l'atmosphère sur la surface de notre corps. Cette pression est énorme; et cependant nous nous en appercevons très-peu (317). Notre corps est pressé, dans tous les points de sa surface, par l'air de l'atmosphère, puisque ce fluide, de même que tous les autres, exerce sa pression dans

tous les sens; et le poids qu'il soutient est celui d'une colonne d'air dont la base est égale à la surface de notre corps, et dont la hauteur est celle de l'atmosphère. Or le poids de cette colonne d'air est égal à celui d'une colonne de mercure de même base et de 28 pouces (758 millimètres) de hauteur (501). D'après cela, il est aisé de connoître la valeur de cette pression sur nous. On suppose que la surface du corps d'un homme de moyenne taille est de 15 pieds quarrés (1 mètre quarré 582809 millimètres quarrés), ce qui n'est pas fort éloigué de la vérité. Or un pied cube de mercure pèse 949 livres 12 onces 2 gros 13 grains (464 kiliogrammes 916 grammes 517 milligrammes) (*Voyez mon ouvrage sur la pesanteur spécifique des corps*) : une colonne de mercure d'un pied quarré (105521 millimètres quarrés) de base, et de 28 pouces (758 millimètres) de haut, pèse donc 2216 livres 1 once 7 gros 54 $\frac{2}{3}$ grains (1084 kiliogrammes 805 grammes 206 milligrammes); lequel poids, multiplié par 15 (nombre de pieds quarrés que contient la surface du corps d'un homme), donne pour produit 33241 livres 13 onces 4 gros 23 grains (16272 kiliogrammes 78 grammes 84 milligrammes). Voilà la pression moyenne que nous éprouvons de la part de l'atmosphère.

966. Mais cette pression, qui est mesurée par la hauteur du mercure dans le baromètre, n'est pas constante, comme le prouve la variation de cette hauteur. Cette variation est de 3 pouces : d'où il suit que la plus grande différence entre les différentes pressions de l'air sur notre corps, est égale au poids d'une colonne de mercure de 15 pieds quarrés (1 mètre quarré 582809 millimètres quarrés) de base, et de

3 pouces (81 millimètres) de hauteur : lequel poids est de 5561 livres 10 onces 0 gros 12 $\frac{1}{4}$ grains (1743 kiliogrammes 436 grammes 938 milligrammes). C'est sans doute un bien pour nous d'éprouver, de la part de l'air, une aussi grande pression : car lorsque nous nous portons sur les hautes montagnes, où cette pression est beaucoup moindre (957), nous nous y trouvons souvent mal à notre aise.

967. Nous avons fait voir ci-dessus (954) que l'atmosphère est un fluide mélangé d'une grande quantité de substances étrangères qui s'élèvent de la terre dans l'air. Toutes les substances évaporables, en prenant l'état de vapeurs, passent dans l'air, et s'y élèvent par leur légèreté respective. De plus, *l'air est un dissolvant de l'eau :* il y en a toujours une assez grande quantité de dissoute dans ce fluide. Pour vous en assurer, faites l'expérience suivante.

968. Expérience. Dans un vase bien sec et bien net, mêlez 1 kiliogramme de glace pilée et 575 grammes de sel marin ou muriate de soude, ce qui produira un refroidissement assez considérable (1094). Laissez quelque temps ce vase exposé dans un lieu où il ne gèle pas. Les parois extérieures de ce vase se couvriront peu-à-peu d'une assez épaisse couche de frimas, qui ne sont autre chose que l'eau tenue en dissolution par l'air voisin du vase, lequel l'a abandonnée en se condensant par le froid; de même que de l'eau très-chaude, qui tient beaucoup de sel en dissolution, en abandonne une partie en se refroidissant (1057).

969. On divise en deux classes les matières qui s'élèvent de la terre dans l'air. L'une comprend toutes

celles qui tiennent de la nature de l'eau ; dans l'autre, sont comprises les parties salines, grasses, spiritueuses, etc. auxquelles on donne le nom d'*exhalaisons*. Toutes ces substances, différemment mélangées ou modifiées, prennent différentes formes, et produisent différens phénomènes qu'on nomme *météores*.

970. Les météores sont donc des phénomènes qui ont lieu dans l'atmosphère. On en distingue de trois sortes; savoir, les météores aqueux, les météores lumineux, et les météores enflammés. Nous ne traiterons ici que des météores aqueux; nous parlerons des lumineux en traitant de la lumière (1435 *et suiv.*) et des enflammés en traitant de l'électricité (2599 *et suiv.*)

971. Les météores aqueux sont tous ceux qui sont produits par l'eau qui se trouve dans l'atmosphère, soit en vapeur, soit en dissolution. Tels sont le serein, la rosée, la gelée blanche, les brouillards, le givre ou frimas, les nuages, la pluie, la neige et la grêle. Tous ces météores naissent des mêmes causes, et sont composés de la même matière, différemment modifiée.

972. Pendant le jour, le soleil échauffe la terre, l'eau, l'air, et tout ce qui se trouve exposé à ses rayons. La chaleur communiquée à tous ces corps, se ralentit lorsque le soleil est couché, mais plus promptement dans l'air que dans les matières qui ont plus de densité; de sorte que les eaux, la terre, et la plupart des corps qui sont à sa surface, conservent cette chaleur plus long-temps, et se trouvent, pendant la nuit, en avoir plus que l'air. Alors la matière de la chaleur, qui, comme tous les autres fluides, tend à se répandre uniformément partout,

passe de la terre et des eaux dans l'air, et, se combinant avec les parties les plus subtiles, leur fait prendre l'état de vapeurs, qui s'élèvent dans l'air par leur légèreté respective. De plus, l'air, qui s'insinue aisément dans les pores des corps (943), dissout une portion d'eau plus ou moins grande. Toutes ces particules aqueuses, ainsi enlevées, se répandent dans la portion de l'athmosphère la plus voisine de la terre; et jointes à l'eau déjà dissoute que l'air, alors condensé par le refroidissement, peut abandonner et renvoyer vers la terre, elles causent cette humidité que l'on apperçoit sensiblement sur ses habits, lorsqu'on se promène le soir, et à laquelle on a donné le nom de *serein.*

973. Si à ces particules aqueuses se trouvent mêlés, comme cela arrive quelquefois, des extraits de différentes substances, soit végétales, soit minérales, le serein, qui s'en trouve chargé, peut avoir des qualités bonnes ou mauvaises, suivant la nature de ces substances. Et comme la nature ne fournit pas partout et en tout temps les mêmes productions, nous devons conclure que le serein peut changer de qualités, suivant les temps et les lieux. Aussi prétend-on qu'à Rome et à ses environs, il est dangereux de s'exposer au serein, tandis qu'on peut le faire impunément à Paris.

974. Lorsque la terre s'échauffe suffisamment pendant le jour, ce qui arrive ordinairement dans les saisons et les climats chauds, ces particules aqueuses qui forment le serein, continuent pendant toute la nuit de s'élever de la terre, et demeurent pour un temps suspendues dans la région basse de l'air. Mais au lever du soleil, la chaleur renaît dans l'atmosphère,

et l'air, en se raréfiant, abandonne ces parties aqueuses, qui retombent alors sur la terre et sur tous les corps qui sont à sa surface, et forment ce qu'on appelle la *rosée*. Il y a une autre sorte de rosée qui ne retombe pas comme la première, quoiqu'elle soit formée de substances semblables, et qui s'élèvent pareillement de la terre. Mais ces dernières, au lieu d'en sortir immédiatement, et de passer dans l'air, enfilent les tiges, les branches et les feuilles des plantes, et s'y ramassent en gouttes. Pour se convaincre de ce fait, on n'a qu'à couvrir le soir une plante quelconque, par exemple, un chou ou une laitue, avec une cloche de verre, on la trouvera le matin couverte de rosée, comme le seront les plantes voisines qui seront demeurées découvertes; et la cloche de verre sera elle-même couverte de la rosée tombante.

975. Quand les nuits commencent à devenir longues, comme vers la moitié ou la fin de l'automne, la terre et les corps qui sont à sa surface ont le temps de se refroidir assez pour permettre à la rosée de se geler. Les petits glaçons qui en proviennent, et qui sont fort menus et très-proches les uns des autres, forment alors ce que nous appelons la *gelée blanche*. Il n'est point nécessaire, pour la produire, que la terre ou les objets terrestres, ou même l'air, aient acquis le degré de froid qui occasionne la congélation; il suffit qu'ils en soient fort près. Ce qui fait geler ces petites gouttes de rosée qui forment la gelée blanche, est sur-tout le refroidissement occasionné par l'évaporation (1171), laquelle est quelquefois très-augmentée par la première action du soleil. Il arrive souvent que la rosée, qui n'est encore que rosée avant

avant que le soleil se lève, devient de la gelée blanche peu d'instans après que cet astre est monté au-dessus de l'horizon. Et quand le soleil est alors bien brillant, c'est le cas où la gelée blanche cause le plus de dommage aux plantes et aux fruits; car l'évaporation étant plus considérable, le refroidissement en devient aussi plus grand.

976. Il arrive quelquefois, par certaines dispositions dans l'atmosphère, et par un concours de circonstances assez difficiles à déterminer, qu'il s'éleve une grande quantité de particules aqueuses, qui ne sont qu'imparfaitement dissoutes dans l'air, ou qui ont pris la forme de vapeurs grossières qui s'étendent uniformément dans la partie basse de l'atmosphère; alors ces particules troublent la transparence de l'air, et forment ce qu'on appelle le *brouillard*. Il suit de là que les brouillards doivent être plus fréquens dans les lieux les plus capables de fournir une grande quantité de ces particules aqueuses. Aussi le sont-ils davantage dans les lieux bas et humides, dans les endroits marécageux, le long des rivières et des étangs, qu'ils ne le sont dans les endroits secs et élevés.

977. Il arrive quelquefois qu'il se mêle aux brouillards, des exhalaisons qui se manifestent par une mauvaise odeur et par une âcreté qu'on ressent à la gorge et aux yeux. On prétend qu'alors les brouillards sont capables de causer du dommage aux fruits et aux grains. On leur attribue même ces maladies du bled, connues sous les noms de *nielle* et de *rouille*. Mais je suis bien plus porté à croire que les germes de ces maladies sont dans le grain même que l'on sème, soit que ce germe soit un virus dont le grain

est infecté, soit que ces maladies proviennent de la piqûre d'un insecte qui y a déposé ses œufs. Car la liqueur alkaline, employée avec succès pour prévenir ces maladies, est au nombre de celles qui peuvent faire périr les insectes, ou qui peuvent sans doute détruire ce virus, puisque la semence préparée avec cette liqueur produit un bled qui n'est plus sujet à ces maladies, quoiqu'il soit exposé aux mêmes brouillards que ceux auxquels sont exposés ses voisins. Ce ne sont donc pas les brouillards qui causent ces maladies des bleds.

978. Les brouillards sont plus fréquens dans les saisons et les climats froids, que dans les saisons et les climats chauds, parce qu'alors les particules aqueuses et les vapeurs, condensées par le froid de l'air presque au moment où elles sortent de la surface de la terre ou des eaux, ne peuvent s'élever qu'à une très-petite hauteur, ou ne peuvent être qu'imparfaitement dissoutes. Si le froid vient à augmenter, le brouillard se gèle, et s'attache en petits glaçons aux branches des arbres, aux habits et aux cheveux des voyageurs, aux crins des chevaux, et généralement à tout ce qui s'y trouve exposé, et forme ce que l'on appelle le *givre* ou *frimas*. Le givre diffère de la gelée blanche, à laquelle il ressemble cependant beaucoup, en ce qu'il n'a jamais lieu que lorsque la température de l'air est à la congélation ou au-dessous : au lieu qu'il y a souvent de la gelée blanche, quoique la température de l'air soit un peu au-dessus de la congélation (975).

979. Lorsque les brouillards s'élèvent assez haut dans l'atmosphère, et qu'il s'y en fait des amas, soit par quelque condensation de l'air, soit par l'im-

pulsion des vents, etc. cela forme ce que nous appelons les *nuages*, qui flottent à différentes hauteurs dans l'air, avec lequel ils sont en équilibre. Et comme l'air a d'autant plus de densité qu'il est plus près de la surface de la terre (959), il n'est pas étonnant que ces nuages épais, qui sont prêts à fondre en pluie, soient ordinairement fort bas. Il n'y a que les nuages rares et légers, qui puissent se soutenir à une certaine hauteur.

980. Puisque les nuages sont composés d'eau, ou réduite en vapeurs, ou dissoute dans l'air, il doit s'en former plus que par-tout ailleurs dans les endroits les plus capables d'en fournir la matière. Aussi se forme-t-il plus de nuages au-dessus des mers et des grands lacs, où l'évaparation est beaucoup plus abondante, qu'il ne s'en forme au-dessus des continens et des grandes isles. C'est pour cette raison que le vent d'ouest, qui nous vient de dessus l'Océan, et le vent de sud, qui nous vient de dessus la Méditerranée, nous apporte ordinairement beaucoup de nuages.

981. Si les nuages s'épaississent, soit par l'action des vents, soit par la condensation ou la raréfaction de l'air qui les porte, soit par l'abandon du calorique qui les tenoit dans l'état de vapeurs, les particules aqueuses, dont ils sont composés, se réunissent en gouttes, qui, devenues par-là trop pesantes pour se soutenir en l'air, font, en tombant, ce qu'on appelle de la *pluie*. Lorsque cette condensation des nuages se fait précipitamment, et dans une portion peu élevée de l'atmosphère, où l'air, ayant plus de densité (959), est plus en état de les soutenir; les gouttes qu'ils forment prennent plus de grosseur, sont en moindre nombre, demeurent plus écartées les unes

des autres, et acquièrent beaucoup de vîtesse en tombant; c'est ce qu'on observe presque toujours dans les pluies d'orage, qui viennent ordinairement de nuages peu élevés. Mais si cette condensation se fait lentement, ou que ces petites particules aqueuses ne se réunissent, et ne tombent que parce que l'air, qui les soutenoit, les abandonne en se dilatant; alors les gouttes demeurent très-petites, sont en très-grand nombre, fort proches les unes des autres, et tombent lentement, et avec une vîtesse presque uniforme. Elles forment alors une pluie extrêmement fine, à laquelle on donne communément le nom de *bruine*.

982. Le froid de la région des nuages est quelquefois assez considérable pour geler les particules aqueuses qui composent les nuages. Si le froid les saisit avant qu'elles aient eu le temps de se réunir en gouttes, les petits glaçons qui en proviennent, se réunissant plusieurs ensemble, et ne se touchant que par quelques points de leur surface, ne composent que des flocons très-légers. C'est là ce que nous appelons *neige*.

983. L'ordre et l'arrangement de ces petits glaçons entr'eux ne sont pas toujours les mêmes; ils varient prodigieusement, et font par-là varier la figure de la neige. Mais ce qu'il y a de très-singulier, c'est que cette figure, qui n'est pas la même dans tous les temps, est constamment la même dans le même jour, ou du moins dans la même ondée; c'est-à-dire, que les flocons qui tombent ensemble ne diffèrent qu'en grosseur; mais ils ont tous la même figure, ou, pour mieux dire, ils sont tous composés de petites ramifications qui se ressemblent. De sorte que la neige d'aujourd'hui peut bien avoir une figure différente

de celle qu'avoit la neige d'hier; mais l'arrangement des petits glaçons est constamment le même dans tous les flocons qui tombent dans la même ondée : il n'en tombe donc que d'une espèce à la fois, soit en différens jours, soit en différentes heures du même jour. On pourroit regarder cela comme une espèce de crystallisation, mais dont il seroit très-difficile de rendre raison.

984. La neige tombe toujours lentement et presque sans accélération, parce qu'avec très-peu de masse, elle présente à l'air, qu'elle traverse, une grande quantité de surfaces ; ce fluide, par sa résistance, l'empêche donc de recevoir l'augmentation de vîtesse que lui auroit donnée sans cela l'accélération de sa chûte (214).

985. Cette grande quantité de surface rend encore la neige très-susceptible d'évaporation : aussi diminue-t-elle sensiblement, même dans les jours les plus froids.

986. Si le froid, qui règne quelquefois dans la région des nuages, donne le temps aux particules aqueuses, qui les composent, de se réunir en gouttes, avant d'être prises par la gelée, le froid, qui les saisit, en forme de petites globules de glace : c'est là ce que nous appelons *grêle*.

987. La grêle devroit toujours être parfaitement ronde, parce qu'elle est composée d'eau, qui, ayant été fluide dans un milieu qui la pressoit également de toutes parts, a dû nécessairement prendre une figure sphérique. Aussi est-il hors de doute que c'est là la figure qu'elle a dans le moment de sa formation. Cependant, lorsqu'elle arrive à terre, elle est le plus

souvent anguleuse : cela vient, ou de ce qu'elle a déjà commencé à se fondre, ou qu'au contraire elle a reçu un degré du froid suffisant pour geler les petites particules d'eau qu'elle a touchées dans sa chûte, et qui tombent moins vîte qu'elle (208).

988. La grêle ne devroit jamais être plus grosse que des gouttes de pluie : ainsi, si l'on en voit quelquefois tomber qui égale en grosseur une noix ou un œuf, c'est, comme nous venons de le dire (987), qu'elle s'est trouvée assez froide pour geler les particules d'eau qu'elle a touchées dans sa chûte, et se les approprier; ou que plusieurs grains se sont réunis, et comme collés les uns aux autres en tombant. Pour s'en convaincre, il suffit d'examiner ces gros grains de grêle; on les trouvera presque toujours anguleux, et jamais d'une densité uniforme depuis la surface jusqu'au centre; ce qui prouve clairement qu'ils sont faits de plusieurs pièces. Aussi observe-t-on que la grêle qui tombe sur le haut des montagnes, est plus petite, toutes choses d'ailleurs égales, que celle qui tombe dans les vallées : elle acquiert donc et grossit de plus en plus pendant qu'elle tombe.

989. La grêle acquiert souvent, en tombant, une vîtesse considérable, parce qu'au moyen de sa figure sphérique, ou à-peu-près, elle éprouve, de la part de l'air, qu'elle traverse, la moindre résistance possible, relativement à sa masse, puisque les corps sphériques sont ceux qui, pour une quantité donnée de matière, ont le moins de surface : et cette résistance est d'autant moindre, que les grains sont plus gros. Aussi la grêle, et sur-tout la grosse, cause-t-elle souvent beaucoup de dommage : elle coupe les bleds, la vigne et les jeunes pousses des arbres ; elle meurtrit

les fruits et les fait tomber; elle tue les animaux dans la campagne, etc. On ne voit que trop souvent des cantons entièrement dévastés par elle.

990. D'après ce que nous venons de dire des météores aqueux (971 *et suiv.*), il est aisé de voir qu'ils naissent tous des mêmes causes. Ce sont les particules d'eau qui passent de la terre et des eaux dans l'air, qui forment le serein; la rosée est le serein lui-même qui est retombé; la gelée blanche est la rosée qui s'est gelée; le brouillard n'est qu'un serein plus abondant; le givre ou frimas est le brouillard qui se gèle, en adhérant aux corps qu'il rencontre; les nuages sont des brouillards portés à une certaine hauteur; les pluies sont des nuages dont les particules aqueuses se sont réunies plusieurs ensemble pour former des gouttes; la neige est un nuage dont les particules se sont gelées avant d'être réunies en gouttes; enfin, la grêle n'est autre chose que les gouttes de pluie gelées.

L'atmosphère considérée comme un fluide agité.

991. On observe deux sortes de mouvement dans l'air de l'atmosphère. L'un n'est qu'un mouvement de tremblotement ou de vibration imprimé aux parties de ce fluide, et qui les agite pendant quelque temps, sans les déplacer: c'est celui qui nous apporte le son. L'autre est un vrai mouvement de translation, par lequel une portion assez considérable de l'atmosphère est poussée d'un lieu dans un autre, avec une vîtesse plus ou moins grande, et dans une direction déterminée: c'est celui qui produit le vent.

Du Son.

992. Le son naît d'un mouvement de vibration imprimé à un corps sonore par le choc d'un autre corps, communiqué par ce corps sonore au fluide qui l'environne, et transmis par ce fluide jusqu à l'oreille, qui est l'organe destiné à en recevoir l'impression.

993. De cette définition, il suit que nous devons considérer le son sous trois aspects différens; 1°. dans le corps sonore qui le fait naître; 2°. dans le milieu qui le transmet ; 3°. dans l'organe qui en reçoit l'impression.

994. On appelle *corps sonores* proprement dits, ceux dont les sons sont distincts, comparables entre eux, et de quelque durée; tels sont ceux d'une cloche, d'une corde de violon, etc. et non pas ceux qui ne font entendre qu'un bruit confus, tel que le fait une pierre qui tombe sur le pavé. Pour que les corps soient sonores, il faut nécessairement qu'ils soient élastiques, comme nous allons le prouver; et leur son est proportionnel à leurs vibrations, pour la durée et pour l'intensité ou la force.

995. Supposons donc que l'on frappe, par exemple, une cloche (*fig.* 138). Ses petites particules, par leur force élastique, se meuvent avec beaucoup de vîtesse, avec une sorte de tremblotement et d'ondulation, qu'il est aisé d'observer et de sentir, en posant légèrement le doigt dessus. Pour bien entendre ceci, il faut concevoir qu'une cloche est composée d'une suite de zones circulaires, qui vont jusqu'au haut en décroissant de diamètre. Chacune de ces zones peut être considérée comme un anneau plat

(*fig.* 139.), composé d'autant de cercles concentriques qu'il peut y en avoir dans l'épaisseur. Si l'on frappe cet anneau au point *a* (*fig.* 140), cette partie choquée se porte vers *g*, et en même temps les parties *b* et *d* se portent vers *i* et vers *m*, ce qui contraint le point *c* de se porter vers *e*. Mais l'instant d'après, ces parties, tendant par leur élasticité (31), à se rétablir dans leur premier état, reviennent au lieu d'où elles sont parties; et comme elles y reviennent avec accélération (34), elles se portent plus loin que le lieu de leur repos: la partie *a*, après être revenue de *g* en *a*, se porte donc vers *f*; la partie *c* vers *h*; et les parties *b* et *d* vers *k* et vers *l*. De là il arrive que la cloche, de circulaire qu'elle étoit d'abord, devient ovale alternativement en deux sens différens: il faut donc qu'aux endroits des plus grandes courbures, les parties extérieures s'écartent les unes des autres.

996. Cette même chose arrive à une corde BD (*fig.* 141) de clavessin, de harpe, etc. que l'on pince; car, pour devenir angulaire, comme BCD ou BED, il faut nécessairement qu'elle s'alonge, et par conséquent que ses parties s'écartent.

997. Il y a donc là deux sortes de vibrations; savoir, les vibrations totales qui changent la figure du corps; et les vibrations particulières, ou celles des parties insensibles.

998. Le son n'est point dû aux vibrations totales; mais à celles des parties insensibles, comme l'a prouvé *de la Hire* (*Mém. de l'Acad.* an. 1716, *pag.* 264). Toutes les fois donc qu'on pourra séparer ces deux sortes de vibration, on n'aura point de son avec les totales; mais quand les vibrations totales sont accom-

pagnées de celles des parties insensibles, elles règlent la durée, la force et les modifications du son.

999. Si l'on fait cesser les vibrations, en touchant le corps sonore, le son cesse aussi sur-le-champ, parce qu'il ne peut pas avoir lieu sans ces vibrations (992). C'est pourquoi les horlogers mettent sous le marteau, destiné à frapper le timbre de l'horloge, un petit ressort, qui le relève sitôt qu'il l'a frappé, et l'empêche de continuer de le toucher.

1000. Le mouvement des corps qui sont à quelque distance de nous, ne peut point affecter nos sens sans la médiation d'autres corps qui reçoivent ce mouvement, et le communiquent immédiatement à l'organe. Les vibrations du corps sonore se passeroient donc sans que nous nous en apperçussions, s'il n'y avoit, entre lui et nous, un milieu capable de les transmettre. Les fluides élastiques sont les milieux les plus propres à cet effet. Les vibrations du corps sonore se communiquent donc à l'air qui l'environne, en produisant un mouvement semblable dans l'air, ou pour mieux dire, dans autant de ses parties qu'il y en a de capables de le recevoir et de le perpétuer.

1001. L'air est en effet le milieu le plus ordinaire par lequel le son se transmet : et le son est porté ou entendu d'autant plus loin, que le fluide, par lequel il se propage, a plus de densité. Le son se porte donc plus loin par un air condensé, que par un air ordinaire. Cela doit être; car il doit y avoir un son plus fort, où il se trouve un ressort plus actif: or cela se trouve dans un air condensé (911). Mais si l'air étoit considérablement dilaté, le son ne s'entendroit qu'à une très-petite distance, et d'autant plus petite que

sa dilatation seroit portée à un plus haut degré, parce qu'alors il n'auroit pas la densité requise. C'est la raison pour laquelle la lumière, qui est un fluide très-rare, n'est pas capable de transmettre les sons, quoiqu'elle ait une élasticité parfaite.

1002. Mais suivant quelles proportions se fait l'accroissement de la force du son dans un air condensé? *Hauksbee*, qui a travaillé à cette recherche (*Trans. phil.* n°. 321), a trouvé que, dans un air une fois plus dense, le son s'entend une fois plus loin. D'où il a conclu, avec raison, que le son augmente, non pas seulement en raison directe de la densité de l'air, mais en raison du quarré de cette densité. Car supposons que le corps sonore A (*fig.* 142), qui doit être regardé comme le centre d'une sphère d'activité qui anime des rayons sonores dans tous les sens, puisque ce corps sonore se fait entendre de tous côtés: supposons, dis-je, que ce corps soit dans un air dont la densité est 1; que l'oreille soit placée à la distance 1, et qu'elle ait pour ouverture *de*, elle recevra tous les rayons sonores qui forment le cône *ade*, et que nous supposons nécessaires pour faire entendre le son à la distance 1. Supposons maintenant qu'on double la densité de l'air, et que l'oreille se place à la distance 2: l'expérience prouve qu'elle y entendra le son de la même manière qu'elle l'entendoit dans le premier cas à la distance 1. Mais il est démontré qu'à la distance 2, l'oreille ne reçoit que le quart des rayons qu'elle recevoit à la distance 1, puisque l'aire de la base du cône *abc* est quadruple de l'aire de la base du cône *ade*, et que l'ouverture *bf* de l'oreille est égale à *de*. Il faut donc que le son soit quatre fois aussi fort à la seconde distance qu'à la première. On

prouvera de même que, pour entendre le son à la troisième distance, il faut qu'il soit 9 fois aussi fort, 16 fois à la quatrième distance, 25 fois à la cinquième, etc. Donc *le son augmente comme le quarré de la densité de l'air.*

1003. Si le son s'exécutoit dans un fluide élastique plus dense que l'air, il seroit aussi porté plus loin. C'est ce que j'ai éprouvé, en mettant un corps sonore dans le gas acide carbonique (735), dont la densité excède celle de l'air d'environ un tiers (759). Le son, dans le même temps et dans le même lieu, s'y est trouvé beaucoup plus fort.

1004. Si le ressort de l'air devenoit plus actif, sans que sa densité changeât, comme cela peut arriver par différentes causes, la force du son seroit augmentée à raison de cette augmentation d'activité du ressort: ainsi, pous énoncer d'une manière plus générale cet accroissement de l'intensité du son, il faut dire que *l'intensité du son est comme le produit de la densité de l'air multipliée par son ressort.*

1005. Les fluides élastiques ne sont pas les seuls milieux qui puissent transmettre le son : il se propage aussi par l'eau et par les autres liqueurs, comme on l'a éprouvé, et comme on peut s'en assurer, en plongeant, au milieu de l'eau, un corps sonore, de manière qu'il ne touche à aucun corps dur, et que cette liqueur l'environne de toutes parts. Il faut avouer que, dans ce cas-là, le son paroît moins fort, et s'entend de moins loin : cela vient de ce que le milieu qui transmet le son, doit être élastique, et les liqueurs le sont très-peu (33); et l'affoiblissement du son se fait presque tout en entier au passage de l'air dans la

liqueur, comme l'a éprouvé l'abbé *Nollet*, qui a fait là-dessus plusieurs expériences curieuses. (*Mém. de l'Acad.* an. 1743, *pag.* 199).

1006. Le son peut aussi se transmettre par des corps solides, pourvu qu'ils aient le degré de ressort nécessaire.

1007. Le son emploie un temps très-sensible à se propager, à se transmettre du lieu où il naît, dans le lieu où il se fait entendre; car si l'on voit de loin quelqu'un qui tire un coup de fusil, on n'entend le bruit que quelque temps après avoir apperçu la lumière. Cela vient de ce que la lumière où son action se propage beaucoup plus vîte que le son; car, puisqu'elle ne met qu'environ 8 minutes à venir du soleil à nous (1180), il faut qu'elle parcoure environ 72420 lieues par secondes de temps. On s'est donc servi de cette différence pour mesurer la vîtesse avec laquelle le son se propage.

1008. La distance des lieux que nous pouvons appercevoir à la surface de la terre, est si petite, qu'il ne faut à la lumière qu'une très-petite fraction de seconde pour la parcourir : nous pouvons donc, sans crainte d'erreur sensible, négliger cette petite fraction, et compter que nous appercevons la lumière dans le moment où elle paroît. Ainsi, si l'on fait tirer un coup de canon d'un lieu qu'on peut voir, en comptant le temps qui s'écoule depuis la lumière apperçue jusqu'au son entendu, on aura le temps que ce son aura employé à parcourir cet espace. C'est ainsi qu'on s'y est pris pour mesurer la vîtesse du son : l'expérience en a été faite par plusieurs physiciens, et elle a été sur-tout répétée plusieurs fois, et avec

beaucoup de soins et d'exactitude, par *de Thury*, *Maraldi* et *de la Caille*, sur une ligne de 14636 toises (28526 mètres), qui avoit pour termes la tour de Mont-Lhéri et la pyramide de Montmartre, l'Observatoire étant placé entre deux. (Voyez *les Mémoires de l'Académie*, année 1738, *pag.* 128 *et suiv.*) Les résultats de ces expériences sont :

1009. 1°. Que la vîtesse du son, par un temps calme, est de 173 toises (337 mètres) par seconde ; et qu'elle est à-peu-près de la même quantité, lorsque le vent est dans une direction perpendiculaire à celle de l'endroit où est produit le son à celui où on l'entend.

1010. 2°. Que le son, fort ou foible, se transmet avec la même vîtesse, puisqu'on a entendu de Mont-Lhéri le bruit d'une boîte, chargée seulement d'une demi-livre de poudre, et tirée à Montmartre, dans le même temps, après la lumière apperçue, que celui des coups de canon qui y furent tirés successivement, et dont la charge étoit de près de six livres.

1011. 3°. Que la vîtesse du son est la même, soit que le temps soit serein, soit qu'il soit pluvieux.

1012. 4°. Que la vîtesse du son est aussi la même, soit pendant le jour, soit pendant la nuit.

1013. 5°. Que la vîtesse du son est égale dans les grands intervalles comme dans les petits; c'est-à-dire, qu'elle ne se ralentit point vers la fin, comme le font la plupart des autres mouvemens, et que par conséquent elle est uniforme.

1014. 6°. Que la vîtesse du son est de la même quantité, soit que le canon soit dirigé vers l'endroit

où on l'entend, soit que ce soit en sens contraire; puisque le canon de Montmartre ayant été dirigé vers le nord, on l'a entendu, tant de l'Observatoire que de Mont-Lhéri, dans le même intervalle de temps après la lumière apperçue, que lorsqu'il étoit dirigé vers le midi. Il en est de même dans les différentes inclinaisons, puisque le bruit des boîtes, dont la direction est perpendiculaire à l'horizon, s'est transmis dans le même intervalle de temps que celui des canons.

1015. 7°. Que la différente direction du vent contribue à accélérer ou retarder la vîtesse du son d'une quantité qui a été jugée être à-peu-près la même que celle du vent qu'il faisoit alors. D'où il résulte que la vîtesse du son est de 173 toises, plus ou moins celle du vent, selon qu'il est dans une direction favorable ou contraire. On pourra, par ce moyen, puisqu'on connoît maintenant la vîtesse du son, calculer dans tous les temps celle du vent, et réciproquement.

1016. 8°. Que la différente disposition du terrein par lequel le son se transmet, ne contribue pas à augmenter ou diminuer sensiblement sa vîtesse. D'où il suit qu'il se communique en ligne droite, sans suivre les détours.

1017. 9°. Enfin, que la différente pesanteur ou pression de l'air ne produit aucune différence sensible dans la vîtesse du son, puisque, le 21 mars, le baromètre étant à 27 pouces $2\frac{1}{4}$ lignes (736 millimètres) pendant un temps calme, l'intervalle entre la lumière apperçue et le bruit du canon tiré de Mont-Lhéri, fut trouvé à l'Observatoire de la même quantité que

le 16 du même mois, jour où le baromètre étoit à 27 pouces 11 lignes (756 millimètres), par un vent transversal, qui, comme nous l'avons remarqué (1009), ne change rien à la vîtesse du son.

1018. La connoissance de la vîtesse du son n'en est pas une stérile et de pure curiosité : on peut en retirer divers avantages. Cette vîtesse étant une fois connue, on peut la regarder comme une mesure temporaire de l'intervalle entre des lieux éloignés : on en aura donc la distance, en observant le temps écoulé entre la lumière apperçue et le bruit entendu. Si cela ne donne pas une mesure exacte, ce sera du moins un à-peu-près. On peut s'en servir utilement pour déterminer la largeur d'une grande rivière près de son embouchure, d'un lac, d'un marais, et même la distance des isles entr'elles et à la terre ferme. On peut même, dans des temps couverts, en tirant du rivage de la mer des coups de canon, préserver du naufrage des vaisseaux qui, voyant la lumiere et entendant le coup, pourront reconnoître à qnelle distance ils sont du lieu qu'ils veulent éviter ou aborder.

1019. Quand le son rencontre des obstacles, il change de direction, et se réfléchit ; et son angle de réflexion est parfaitement égal à celui de son incidence, parce que l'air, qui lui sert de véhicule, a un ressort parfait (907). C'est là ce qui forme les échos. Pour que celui qui parle entende l'écho, il faut donc que l'obstacle se présente perpendisulairement à la direction de la voix. Supposons quelqu'un placé en A (*fig.* 143), et qu'il parle vis-à-vis d'un corps élevé, par exemple, un rocher placé à quelque distance de là. Si la partie O du rocher se présente perpendiculairement

lairement à la voix, et que cette partie soit telle qu'elle doit être pour former un écho, le son sera réfléchi vers celui qui parle, et lui fera entendre l'écho. Si en P, Q, etc. il y a d'autres parties semblablement disposées, et plus distantes les unes que les autres de celui qui parle, l'écho répétera plusieurs fois de suite la même chose. Mais si toutes ces parties étoient disposées de manière à réfléchir le son vers V, celui qui parle en A n'entendroit point l'écho, tandis que quelqu'un placé en V l'entendroit très-bien.

1020. Les échos ne se trouvent point en rase campagne: il faut nécessairement des objets élevés sur le terrein. Aussi n'en entend-on point en pleine mer, ni dans les plaines, où il n'y a ni maisons ni arbres; mais on en trouve souvent dans les bois, dans les vallées, vis-à-vis des rochers, des montagnes, etc.

1021. Nous avons considéré le son dans le corps sonore qui le fait naître, et dans le milieu qui le transmet: il nous reste à le considérer dans l'organe qui en reçoit l'impression. L'oreille est cet organe. Les anatomistes la divisent pour l'ordinaire en externe et en interne. L'oreille externe est composée de ce qui porte vulgairement le nom d'*oreille*, qui est une espèce d'entonnoir dont la tige, appelée *conduit auditif*, est terminée par une membrane mince, qu'on nomme *membrane du tambour* ou *tympan*. C'est cette membrane qui fait la séparation de l'oreille externe d'avec l'interne. L'oreille interne comprend la caisse du tambour et le labyrinthe. La caisse du tambour est une cavité placée derrière le tympan, qui contient quatre osselets; savoir, le marteau, l'enclume, l'étrier et l'orbiculaire. Le manche du

marteau est attaché au centre du tympan; sa tête au corps de l'enclume, laquelle a deux branches : à la plus longue est fixée la tête de l'étrier, l'orbiculaire entre deux. La base de l'étrier, qui est ovale, ferme une ouverture de même figure, qui communique au labyrinthe, lequel est composé du vestibule, des trois canaux semi-circulaires et du limaçon. Le limaçon, qui est la principale partie de l'oreille, est composé d'un noyau (*fig.* 144) en forme de cône un peu écrasé, enveloppé d'un conduit osseux (*fig.* 145) qui fait deux tours et demi de spirale. La cavité de ce conduit va toujours en diminuant, en approchant du sommet du cône, et se trouve partagée dans toute son étendue en deux moitiés *a*, *b*, appelées *rampes*, distinguées en externe et en interne par une cloison (*fig.* 146) nommée *lame spirale*, dont une portion 1, 2, 3, est osseuse, et l'autre 4, 5, 6, est membraneuse *Voyez* mon *Dictionnaire de Physique*, au mot OREILLE. Vous y trouverez la description détaillée des différentes parties de l'oreille, et leurs usages.

1022. L'ouïe est une sensation excitée en nous par les sons reçus dans l'oreille. Or les sons consistent en un mouvement de vibration imprimé à un corps sonore par le choc d'un autre corps, et communiqué par ce corps sonore à l'air qui l'environne (992). La figure de l'oreille extérieure en forme d'entonnoir (1021) favorise l'entrée d'une plus grande quantité de particules d'air, mises en vibrations par les corps sonores. Ce mouvement se communique par le conduit auditif jusqu'au tympan : les sons y étant parvenus, cette membrane en est ébranlée, et l'action des muscles du marteau, dont le manche est collé

vers le centre de cette membrane, tend à la tenir plus ou moins tendue; elle s'accommode, par ce moyen, à la foiblesse ou à la violence des sons, en se tenant tendue pour les sons foibles, et lâche pour les sons trop forts.

1023. Les osselets contenus dans la caisse du tambour (1021), se trouvant ébranlés par les vibrations de l'air parvenues jusqu'au tympan, communiquent leurs ébranlemens à l'air renfermé dans cette caisse, ainsi qu'à celui qui occupe toutes les cavités du labyrinthe; et cet air, en communiquant ses vibrations à toutes les ramifications nerveuses, et sur-tout à celle de la lame spirale (*fig.* 146), excite la sensation de l'ouïe.

1024. Les corps sonores sont capables d'exciter en nous différentes sensations, soit parce qu'ils sont plus ou moins grands, plus ou moins denses, plus ou moins élastiques, ou que leur ressort est plus ou moins tendu. Car le son d'une cloche et celui d'une sonnette diffèrent, non-seulement quant à la force, mais aussi quant à la nature: de plus, la même corde, si elle est plus ou moins tendue, change de ton; et cette différence vient d'une roideur plus ou moins grande, d'où il résulte un frémissement plus ou moins prompt, et en conséquence des tons plus ou moins graves, plus ou moins aigus. Ces différentes parties de l'oreille, et sur-tout celles de la lame spirale, qu'on peut regarder comme le clavessin de l'oreille, sont susceptibles de ces différentes nuances de célérité de vibrations; car la lame spirale, qui sépare les deux rampes du limaçon, et qui tourne en vis autour de son noyau, est plus large dans sa partie inférieure 4, et va toujours en diminuant de largeur

jusqu'au haut 6 : d'où il suit que les fibres transversales qui composent sa portion membraneuse 4, 5, 6, sont toujours, comme les cordes d'un clavessin, de plus courtes en plus courtes. Cette différence de dimensions donne lieu de présumer que ces différentes fibres nerveuses ont plus de rapport et de proportions avec certains tons qu'avec d'autres. Ces fibres nerveuses sont donc toujours prêtes à recevoir, dans quelques-unes de leurs parties, les vibrations de quelque ton que ce soit ; c'est-à-dire, que les tons les plus graves n'ébranlent que les fibres les plus longues qui sont à leur unisson, tandis que les plus aigus n'ébranlent que les fibres les plus courtes.

1025. Et comme toutes ces ramifications et fibres nerveuses ont plus ou moins de longueur les unes que les autres, selon qu'elles sont destinées à nous faire avoir la sensation de différens tons, on conçoit aisément pourquoi le labyrinthe et ses parties sont aussi grands dans un enfant que dans un adulte ; car si les dimensions avoient été différentes dans ces deux âges, les mêmes tons auroient agi sur nous d'une manière dans notre enfance, et d'une autre quand nous aurions été dans un âge plus avancé ; et un enfant à qui on auroit appris la musique à huit ans, n'en sauroit plus rien à dix-huit ou vingt.

1026. D'après ce que nous venons de dire, il est aisé de sentir la raison des principes sur lesquels est fondée la construction des instrumens de musique. Il doit y avoir dans ces instrumens, de même que dans l'oreille, des parties susceptibles de recevoir et de transmettre les vibrations de tous les différens tons. Or, on sait qu'un corps sonore, une corde, par exemple, fait des vibrations d'autant plus fré-

quentes, et rend un ton d'autant plus aigu, qu'elle est ou plns courte, ou moins grosse, ou plus fortement tendue ; car les tons dépendent d'un certain nombre de vibrations dans un tems déterminé. Aussi, dans tous les instrumens de musique, la partie sonore est disposée de façon qu'on en peut changer les dimensions ou le degré de tension. Dans une vielle, les chanterelles se raccourcissent par les touches, et rendent, par ce moyen, des tons plus aigus : au violon, à la basse, etc. les doigts font l'office de touches : au clavessin, à la harpe, etc. l'étendue du jeu vient du grand nombre des cordes, et de leurs différentes longueurs et grosseurs : dans les instrumens à vent, on change la longueur de la colonne d'air, qui est la partie sonore, en bouchant ou débouchant les trous. Par ces moyens, on peut rendre tous les différens tons avec ces instrumens.

1027. De même qu'il y a dans la lame spirale des fibres de longueurs différentes, et dont le ressort de chacune est analogue à la fréquence des vibrations de tel ou tel ton (1024), deux ou plusieurs tons différens qui arrivent en même temps à l'oreille, se font entendre aussi distinctement que s'ils y arrivoient seul à seul, parce que chaque ton n'agit avec efficacité que sur la fibre dont le ressort est analogue au sien. Nous devons jugerqu'il y a de même dans l'air des molécules qui diffèrent en grandeur et en degré de ressort, et que deux ou plusieurs tons différens sont transmis chacun par les particules d'air dont le ressort est analogue à la fréquence de ses vibrations; de sorte que ces différens tons sont apportés tous à la fois à l'oreille par la même masse d'air, mais chacun par différentes parties de cette masse. C'est ainsi

que plusieurs tons différens rendus auprès d'un clavessin, font résonner chacun la corde qui est à leur unisson.

1028. Quoique l'organe de l'ouïe soit double, il ne s'ensuit par de là que nous devions entendre deux fois un ton simple et unique. Les deux impressions que fait ce même ton sur les deux oreilles, sont reçues sur des fibres correspondantes et semblables des deux nerfs auditifs, et transmises toutes deux en même temps au siége de l'âme; par conséquent, ces deux impressions doivent être regardées comme une seule, et ne produisent effectivement qu'une seule sensation; et cela par la même raison qu'un objet simple ne nous paroît pas double, quoique son image soit peinte en même temps dans chacun de nos yeux (1529).

1029. Un trop grand bruit fatigue l'oreille, et va quelquefois jusqu'à rendre sourdes pour un temps, ou même pour toujours, les personnes qui y ont été exposées; c'est qu'une impression trop forte sur cet organe, comme sur les autres, engourdit les parties qui sont délicates, ou en dérange l'économie. Après un grand bruit, les sonts foibles sont à l'oreille ce qu'est à l'œil une petite lumière après une grande illumination. On a vu quelquefois des gens devenir absolument sourds, pour être demeurés trop long-temps exposés au bruit d'une batterie de canons.

Des Vents.

1030. Le vent est un mouvement de translation de l'air, par lequel une certaine portion de l'atmosphère est poussée d'un lieu dans un autre, avec une vîtesse plus ou moins grande, et dans une direction

déterminée. C'est, comme l'on sait, de cette direction que dérivent les noms que portent les vents ; car ils en prennent différens, relativement aux différens points de l'horizon d'où ils soufflent.

1031. Les vents sont divisés en généraux ou constans, en périodiques ou réglés, et en variables.

1032. Les vents généraux ou constans sont ceux qui soufflent toujours du même côté. Tels sont les *vents alizés*, qu'on remarque entre les deux tropiques, et qui soufflent constamment de l'est à l'ouest (2070), avec seulement quelques petites variations périodiques, suivant les différentes déclinaisons du soleil. Il faut pourtant avouer que ces vents ne sont pas aussi généraux qu'on le prétend, et qu'ils ne doivent être regardés comme tels qu'en pleine mer : car, 1°. dans les terres on ne s'en apperçoit presque pas, à cause qu'ils sont rompus par les montagnes et autres obstacles qui s'y rencontrent ; 2°. en mer, auprès des côtes, ils sont aussi détournés par les vents particuliers qui viennent de terre.

1033. Les vents périodiques ou réglés sont ceux qui soufflent périodiquement d'un point de l'horizon dans un certain temps, et d'un autre point dans un autre temps : tels sont les *moussons*, comme ceux qui soufflent du sud-est depuis le mois de vendémiaire jusqu'au mois de floréal, et du nord-ouest depuis le mois de floréal jusqu'au mois de vendémiaire, entre la côte de Zanguebar et l'île de Madagascar.

1034. Les vents variables sont ceux qui soufflent tantôt d'un côté, tantôt d'un autre, et qui commencent ou cessent sans aucune règle, soit par rapport aux lieux, soit par rapport aux temps, et qui sont

par conséquent variables, soit par la direction, soit par la durée, soit par la vîtesse : tels sont ceux que nous observons à Paris.

1035. Les vents sont causés, en général, par un défaut d'équilibre dans l'air, c'est-à-dire, parce que certaines parties se trouvant avoir plus de force que les parties voisines, s'étendent du côté où elles trouvent moins de résistance. Mais quelle est la cause qui produit ce défaut d'équilibre ? C'est ce qu'on ne sait que très-imparfaitement. Les explications que les physiciens ont données de ces phénomènes, sont si vagues et si peu satisfaisantes, que ce seroit bien peu éclaircir cette matière que de les rapporter. Il me semble que j'aimerois mieux donner pour cause première et générale des vents, l'électricité, qu'on sait qui règne continuellement dans l'atmosphère et à la surface de notre globe. Le tonnerre et les trombes, qui sont aujourd'hui reconnus pour des phénomènes électriques, sont toujours, ou presque toujours, accompagnés de très-grands vents. Pourquoi la cause qui produit ces phénomènes, ne seroit-elle pas celle des vents qui les accompagnent ? Si elle est la cause de ces vents, pourquoi ne seroit-elle pas celle des autres vents ? Cela mérite, je crois, d'être examiné avec soin.

1036. On peut considérer, dans le vent, sa direction, sa vîtesse et sa force. Sa direction est déterminée, comme nous l'avons dit ci-dessus (1030), par le point de l'horizon d'où il souffle : et cette direction est indiquée par les girouettes ; mais pour cela il faut être orienté. D'ailleurs les girouettes ne peuvent indiquer que la direction du vent qui est à leur hauteur : il y en a souvent de supérieurs qui y sont

opposés, ou qui du moins soufflent dans des directions différentes.

1037. On a essayé de mesurer la vîtesse des vents, en leur donnant à emporter des corps légers, mais les expériences qu'on a faites sur ce sujet, s'accordent fort peu entr'elles. *Mariotte* prétend que la vîtesse du vent le plus impétueux, est de 32 pieds (10 mètres et 4 décimètres) par seconde. *Derham* la conclut de 66 pieds d'Angleterre (20 mètres): *de la Condamine* l'a trouvée de 85 pieds ($27\frac{1}{7}$ mètres). Il est probable que ni les uns ni les autres n'ont eu de règle sûre pour juger quel étoit le vent le plus impétueux. Nous avons donné ci-dessus (1015) un moyen plus sûr de mesurer la vîtesse du vent.

1038. La force du vent dépend de sa vîtesse, et de la masse d'air qu'il fait agir contre l'obstacle qui lui est opposé. Le même vent fait donc d'autant plus d'effort, que l'obstacle lui présente plus de surface. C'est pourquoi, suivant le degré de vîtesse actuel du vent, on habille plus ou moins les aîles d'un moulin à vent; on déploie plus ou moins les voiles d'un vaisseau. Les arbres sont moins renversés par le vent pendant l'hiver que pendant l'été; parce que, pendant cette dernière saison, ils sont garnis de feuilles, qui font que le vent a plus de prise sur eux.

1039. Nous savons tirer de très-grands avantages des vents, en leur faisant produire des effets pour lesquels il nous faudroit employer la force d'un grand nombre d'hommes ou d'animaux. Ce sont les vents qui font tourner nos moulins à moudre le bled, à broyer les fruits et les semences pour en extraire les huiles, à fouler les draps, etc. Les vents sont l'ame

de la navigation : c'est par leur moyen que l'on transporte, d'un bord de l'Océan à l'autre, des vaisseaux énormes, que l'on ne pourroit faire aller que très-lentement, très-difficilement et à grands frais, à force de rames.

CHAPITRE XII.

Des Propriétés de l'Eau.

1040. On connoît bien actuellement la nature de l'eau. Nous avons prouvé (817 *et suiv.*) qu'elle est composée de 17 parties (mesurant par le poids) de la base de l'air pur, appelée *oxigène*, et de trois parties de la base du gas hydrogène ou inflammable, qu'on a, pour cette raison, appelée *hydrogène*, c'est-à-dire, *générateur de l'eau.* Il s'agit maintenant de voir quelles sont ses propriétés; il nous est d'autant plus intéressant de les connoître, que ce fluide nous est presque aussi nécessaire que l'air. Si sa nécessité n'est pas de tous les instans, comme l'est celle de l'air, il nous seroit impossible de nous en passer long-temps. L'eau ou ses parties constituantes entrent dans un grand nombre des productions de la nature : sans elle il n'y a point de végétation ; elle est la boisson des hommes et des animaux, et elle est presque essentielle aux commodités de la vie.

1041. L'eau se présente à nous dans trois états différens, sous lesquels il nous la faut considérer : 1°. comme liqueur; 2°. comme vapeur; 3°. comme glace. Ces trois manières d'être, qui ne changent

rien à son essence, la rendent propre à produire des effets différens.

L'eau considérée dans l'état de liqueur.

1042. L'eau, dans l'état de liqueur, est un fluide insipide, visible, transparent, sans couleur, sans odeur, presque totalement incompressible, très-peu élastique, qui adhère à la surface de la plupart des corps, qui en dissout un grand nombre, qui en pénètre un nombre plus grand encore, et qui est capable d'éteindre les matières enflammées qu'on y plonge, ou sur lesquelles on en jette en assez grande quantité. Cette définition ne convient en entier qu'à l'eau parfaitement pure, ainsi si elle est opaque, colorée, odorante, ou qu'elle ait quelque goût, elle est certainement mêlée avec quelque matière étrangère.

1043. La liquidité de l'eau vient de ce qu'elle est combinée avec une assez grande quantité de la matière de la chaleur, pour entretenir entre ses parties cette mobilité respective, qui leur permet de rouler les unes sur les autres, et d'obéir à leur poids, de manière que celles de la surface supérieure se placent toutes dans le même plan horizontal (292). Sitôt que cette combinaison est rompue, les parties se rapprochent, se touchent de plus près, et par ce contact (37,5°.), adhèrent ensemble au point de former un corps solide, comme nous le dirons ci-après (1069). Toutes les autres substances susceptibles de devenir liquides, le deviennent par la même cause.

1044. L'eau nous est fournie de deux manières : elle nous vient, 1°. de l'atmosphère, par les pluies, la neige, la grêle, etc. (971 *et suiv.*); 2°. du sein de la terre, par les sources et les fontaines, qui forment

ensuite les rivières et les fleuves, lesquels transportent toutes leurs eaux à la mer. Les eaux des pluies, etc. sont originairement fournies par toutes celles qui s'évaporent et qui s'élèvent des terres, des lacs et des mers; lesquelles, en retombant, fournissent à l'entretien des sources et des fontaines. La preuve que les sources sont entretenues par les eaux qui tombent de l'atmosphère, c'est qu'un grand nombre de ces sources tarit souvent, ou du moins diminue considérablement après une longue sécheresse, et qu'elles recommencent à couler avec abondance, après de nouvelles pluies où à la fonte des neiges. On explique aisément par-là, pourquoi les eaux des sources sont douces; pourquoi les sources voisines de la mer sont aussi douces que les plus éloignées; enfin, pourquoi les sources se trouvent plus communément à mi-côte, ou au pied des montagnes, que dans les plaines.

1045. On ne doit pas être étonné que cette légère vapeur qui s'élève de notre globe dans l'atmosphère, fournisse une aussi grande quantité d'eau que celle qui est nécessaire pour l'entretien de tous les fleuves qui coulent sur la terre, si l'on considère l'étendue de la surface qui fournit presque continuellement à l'évaporation. La quantité d'eau qui s'élève de la mer a été appréciée par *Halley* (*Transact. philosoph.* n°. 189). Il a trouvé, par des observations assez précises, que l'eau salée au même degré que l'est ordinairement l'eau de la mer, c'est-à-dire, celle qui a dissous une quantité de sel égale à la trente-deuxième partie de son poids, et exposée à un degré de chaleur égal à celui qui règne dans nos étés les plus chauds, perd par évaporation la soixantième partie de l'épais-

seur d'un pouce ($\overset{m.mt.}{0,4511658167}$) d'eau en 2 heures. Ainsi la mer en perd donc une épaisseur d'un dixième de pouce ($\overset{m.mt.}{2,7069949}$) en 12 heures. Une surface de 10 pouces quarrés (7328 millimètres quarrés) fournit donc un pouce cubique (19836 millimètres cubes) d'eau en 12 heures; par conséquent une toise quarrée (3 mètres quarrés 798743 millimètres quarrés) en fournit 518 pouces cubiques (10 litres 275242 millimètres cubes), et une lieue quarrée, de 25 au degré, environ 1574006 pieds cubiques (53952 kiliolitres 605 litres).

1046. Voyons maintenant combien il y a de ces lieux quarrées qui peuvent fournir à cette évaporation. Pour avoir une idée de la masse immense du produit de l'évaporation qui s'opère sur toute la mer, nous supposerons la moitié du globe couverte par la mer, et l'autre moitié occupée par les continens et les isles. Dans cette supposition de la moitié du globe couverte par la mer, nous péchons plutôt par défaut que par excès. La surface de la terre est d'environ 25797278 lieues quarrées : la surface de la mer seroit donc de 12898639 lieues quarrées. En prenant pour l'évaporation journalière celle des 12 heures dont nous venons de parler, et faisant abstraction de ce qui s'évapore pendant les 12 autres heures, qui n'est certainement pas nul, comme le prouve le serein (972); faisant aussi abstraction de ce qui s'évapore du reste de la surface du globe, nous sommes sûrs d'avoir un produit bien au-dessous de la réalité; et cependant ce produit de l'eau fournie chaque jour par la mer, se trouve être 20302535177834 pieds cubes (695915180730 kiliolitres); ce qui fait, comme l'on

voit, plus de vingt millions de millions de pieds cubes : masse énorme, et beaucoup plus que suffisante pour fournir à l'écoulement de tous les fleuves.

1047. Qu'on ne conclue pas de là que les mers ne reçoivent pas autant d'eau qu'elles en fournissent; car il y en a une portion qui retourne immediatement de l'atmosphère dans les mers, par les pluies, neiges, etc. qui y tombent; une autre portion pénètre dans les terres, et retourne aux mers par des canaux souterreins. De ce qui reste, une portion s'élève de nouveau en vapeurs, et nne autre portion sert à la boisson des hommes et des animaux, et à l'entretien de la végétation.

1048. De toutes les eaux naturelles, la plus pure est celle de la pluie; si elle se trouve mêlée avec des substances étrangères, elles sont volatiles et s'en degagent aisément : c'est pourquoi les citernes, qui ne reçoivent que des eaux de cette espèce, sont d'un très-bon usage. Toutes les autres eaux ne sont jamais parfaitement pures; car, outre le calorique et l'air, elles tiennent presque toujours en dissolution quelques substances étrangères, qui leur donnent des qualités qu'elles n'auroient pas sans cela. Si ces substances sont salines ou métalliques, on s'en assurera aisément en y versant quelques gouttes de dissolution d'argent dans l'acide nitrique : sur-le-champ l'eau deviendra laiteuse, si elle contient des matières salines. Si l'on y verse quelques goutes d'infusion de noix de galles, l'eau deviendra noirâtre, si elle contient quelque chose de ferrugineux. Ce sont ces différentes substances dissoutes dans l'eau qui font ce qu'on appelle les *eaux minérales*. Les unes tiennent du fer, des sulfates, etc. telles sont celles de *Passy*, de *Forges*,

de *Cransac*, etc. D'autres sont gaseuses ou acidulées; telles sont celles de *Bussang*, de *Spa*, de *Pougues*, de *Chateldon*, de *Saint-Mion*, de *Selz*, etc. D'autres sont salines; telles sont celles de *Sedlitz*, de *Seydschutz*, de *Vals*, de *Contrexeville*, de *Pouillon*, de *Balaruc*, de *Châtel-Guyon*, de *Bourbonne-les-Bains*, de *Vichy*, de *la Mothe*, etc. D'autres sont alkalines; telles sont celles de *Sainte-Reine*, de *Merlange*, etc. D'autres sont sulfureuses ou hépatiques; telles sont celles d'*Enghien*, de *Bonnes*, de *Baredge*, de *Cauterestz*, de *Plombières*, etc. D'autres sont chargées de sel marin, comme à *Salins*: d'autres de sélénite, comme à *Arcueil*. Ces sources doivent ces qualités aux mines par lesquelles elles passent.

1049. Lorsque l'eau est trop mêlée de corps étrangers qui la rendent impure, il faut chercher à la purifier, pour qu'elle devienne propre à être employée aux usages de la vie. De tous les moyens connus pour cela, le plus usité est la filtration, et le plus efficace est la distillation. La filtration ne purge l'eau que des matières grossières; et tout ce qui se trouve dissous, comme les sels, les sucs pierreux, etc. passe avec l'eau au travers du filtre. C'est ce qui forme les stalactites qu'on trouve dans les grottes souterreines, comme aux caves de l'Observatoire, aux grottes d'Arcy en Bourgogne, etc. Au lieu que la distillation purge l'eau de tout ce qui est fixe, et les substances volatiles qui passent avec elle dans le récipient, se volatilisent promptement de nouveau, et la laissent dans toute sa pureté. Aussi est-ce le seul moyen efficace pour rendre l'eau de la mer potable.

1050. L'eau, ainsi que les autres liqueurs, ne paroît point compressible (27); c'est-à-dire, qu'on ne

connoît point de force qui puisse faire diminuer d'une quantité sensible un volume d'eau donné. Cependant on ne doit pas la regarder comme absolument incompressible ; car elle est capable de transmettre les sons (1005) : donc elle est élastique, quoiqu'elle le soit très-peu. Or tout corps élastique est nécessairement compressible (32).

1051. Les particules de l'eau ont entr'elles une certaine adhérence, de sorte qu'il faut une certaine force pour les séparer. La preuve de cela, c'est qu'une goutte d'eau demeure suspendue au bout du doigt, quoique les particules inferieures de la goutte ne touchent qu'à d'autres particules d'eau. C'est pour cela qu'une aiguille ou des feuilles minces de métal, appliquées sur la surface de l'eau, ne s'y enfoncent point, malgré leur pesanteur respective, parce que la résistance des particules de l'eau à être à divisées est plus grande que l'excès de pesanteur spécifique de ces corps sur celle d'un pareil volume d'eau.

1052. Si, dans le moment que l'eau cesse d'être glace, on l'expose au feu dans un vaisseu ouvert, et soumis à la pression de l'atmosphère, elle s'échauffe et se raréfie jusqu'à ce qu'elle bouille, et non audelà, quelque long-temps qu'on la chauffe ; et lorsqu'elle s'est autant raréfiée qu'elle peut l'être, son volume est augmenté de $\frac{1}{24}$, et elle a alors 80 degrés de chaleur.

1053. Mais si sa surface n'étoit pas chargée du poids de l'atmosphère, elle bouilliroit beaucoup plutôt, et à une moindre chaleur, comme on peut s'en convaincre en adaptant à la machine pneumatique, par le moyen d'un siphon renversé, le vase qui contient

tient l'eau (*fig.* 147), en y faisant ensuite le vide, et ôtant par-là presque toute la pression de l'atmosphére. Si l'on chauffe l'eau légèrement, comme, par exemple, en plongeant le vase qui la contient dans de l'eau chaude, elle bouillira aussi fort que si le vase étoit à nu sur un grand feu.

1054. Si, au contraire, l'eau étoit retenue de toutes parts par des obstacles invincibles, comme elle l'est dans la *marmite de Papin*, elle s'échaufferoit considérablement sans bouillir; et le degré de chaleur qu'elle est capable de prendre en pareil cas est prodigieux, et tel qu'il ne seroit peut-être pas prudent d'essayer de savoir jusqu'où il peut aller. On sait que, dans cette marmite, la chaleur que l'eau y prend est assez forte pour fondre de l'étain, et même du plomb. C'est pour cette raison que les fruits et les viandes y cuisent très-vîte et dans leur jus.

1055. Il suit de ce que nous venons de dire (1053), qu'au sommet d'une montagne un peu élevée, la chaleur de l'eau bouillante est sensiblement moindre qu'à son pied; ce qui a été vérifié par expérience, par *de Thury* et *le Monnier*, de l'Académie des Sciences.

1056. L'eau s'introduit et pénètre dans un très-grand nombre d'espèces de corps; même, parmi les corps durs, elle pénètre les grès, et toutes les pierres non étincelantes, excepté les gypses, les pierres pesantes, les spaths, les albâtres et les marbres.

1057. L'eau est le dissolvant d'un grand nombre de corps; mais les sels sont les substances qui s'y dissolvent, ou en plus grande quantité, ou plus vîte. Cependant elle n'en dissout pas la même quantité de

toutes les espèces ; les unes y sont plus solubles que les autres : et de chaque espèce, l'eau en dissout une quantité d'autant plus grande qu'elle est plus chaude ; car si l'on rassasie d'un sel de l'eau bouillante, et qu'ensuite on la laisse refroidir, on verra qu'il se précipite une portion de ce sel, qui ne peut plus y être tenue en dissolution. Je me suis instruit par l'expérience de la quantité de chaque sel que peut dissoudre l'eau la plus froide. Supposons donc un kiliogramme d'eau très-froide et prète à se geler : j'ai trouvé qu'il peut dissoudre 375 grammes 276 milligrammes (12 onces 2 gros 9 $\frac{3}{5}$ grains) de muriate de soude ou sel marin ; 271 grammes 622 milligrammes (8 onces 7 gros 3 grains) de muriate d'ammoniaque ; 250 grammes 662 milligram. (8 onces 1 gros 39 $\frac{3}{4}$ grains) de carbonate de potasse, ou de sulfate de magnésie, ou de sulfate de soude, ou de tartrite de soude ; 187 grammes 638 milligrammes (6 onces 1 gros 4 $\frac{11}{16}$ grains) de soude ; 125 grammes 92 milligrammes (4 onces 0 gros 51 $\frac{3}{5}$ grains) de nitre, ou d'acétite de plomb, ou de sulfate de fer, ou de sulfate de cuivre, ou de sulfate de zinc ; 62 $\frac{1}{2}$ grammes (2 onces 0 gros 25 $\frac{9}{16}$ grains) d'acide boracique.

1058. L'eau dissout les sels en s'insinuant dans leurs pores avec une force plus grande que celle avec laquelle leurs particules adhèrent les unes aux autres, ce qui rompt leur union. Mais la dissolution dépend sans doute d'une proportion de grandeur et de figure entre les parties du dissolvant et les pores du corps dissoluble : or les pores des sels étant différens dans les espèces différentes, l'eau ne doit pas avoir une égale prise sur tous ; ce doit être la raison pour laquelle elle dissout plus d'un sel que d'un autre. La dissolu-

tion est plus prompte et plus abondante dans l'eau chaude, parce que la chaleur augmente la fluidité de l'eau, la capacité de ses pores et de ceux du sel ; et si le froid retrécit ces pores, une portion du sel en est chassée, et se précipite au fond du vase.

1059. La dissolution des sels dans l'eau présente un phénomène singulier, que voici. Un sel, en se dissolvant dans l'eau, la refroidit communément. Je dis *communément*, parce qu'il en faut excepter quelques-uns, tels que le carbonate de potasse, l'acétite de plomb, et les sulfates de magnésie, de fer, de cuivre et de zinc. Celui de tous les sels qui est le plus propre à refroidir l'eau en s'y dissolvant, est le muriate d'ammoniaque; sans doute parce qu'étant très-soluble, il rend l'opération plus prompte, et par-là le refroidissement plus sensible. Aussi est-il très-propre à suppléer la glace pour rafraîchir les liqueurs. La raison de ce refroidissement (qui ne dure pas très-long-temps) est qu'une portion de la matière de la chaleur, en état de liberté, que contiennent ces substances, est chassée par la pénétration réciproque de l'eau et du sel dans les pores l'un de l'autre. Le muriate de soude et le sel acide boracique ne refroidissent l'eau que de 1 degré; la soude et le nitre la refroidissent de 5 degrés; le tartrite de soude, de 5 $\frac{1}{4}$ degrés; le sulfate de soude, de 5 $\frac{1}{7}$ degrés; et le muriate d'ammoniaque, de 10 $\frac{1}{2}$ degrés.

1060. L'eau de la mer, suivant les expériences de *de Marsilli*, *Halley*, *Hales*, etc. ne tient en dissolution que peu de sel marin, environ $\frac{1}{32}$ de son poids. On ne doit donc pas prétendre, comme quelques-uns l'ont fait, qu'il y a dans la mer des mines de ce sel, destinées à remplacer celui qu'on en tire journelle-

ment ; car, dans ce cas, l'eau de la mer en dissoudroit plus de $\frac{1}{32}$ de son poids, puisque l'eau la plus froide peut en dissoudre jusqu'à $\frac{1}{3}$ de son poids. Il est plus raisonnable de penser qu'il ne reste plus dans la mer de sel à dissoudre ; que l'équivalent de ce qu'on en tire y est reporté par les eaux qui s'y rendent ; et que ce qu'il en reste pour la nutrition des animaux et des plantes, est compensé par une portion du sel que l'on retire des mines en plusieurs endroits, et qui y est aussi porté par les eaux. Par ce moyen, la salure de l'eau de la mer demeure toujours à-peu-près la même.

1061. L'eau est capable d'éteindre les corps embrasés, pourvu qu'elle puisse subsister sur eux dans l'état de liqueur plus long-temps que ne peut durer l'embrasement ; car alors elle empêche le contact de l'air, fluide absolument essentiel pour la combustion des corps (942). Mais si elle se vaporisoit et qu'elle se décomposât, son oxigène se combineroit avec le corps qui brûle, et son hydrogène (817) se combinant avec le calorique, formeroit un gas inflammable qui, en s'embrasant, augmenteroit beaucoup l'activité du feu.

L'eau considérée dans l'état de vapeur.

1062. Lorsque l'eau est plus chaude que l'air qui la touche, la matière de la chaleur, qui tend toujours à se répandre uniformément, en sortant de l'eau, en emporte les parties les plus subtiles et les moins adhérentes à la masse, et en se combinant avec elles, réduit cette portion de l'eau à l'état de vapeur, ou de fluide élastique. Ce fluide a des pro-

priétés particulières, et qui le distinguent de l'eau en liqueur.

1063. La vapeur est parfaitement invisible, lorsqu'elle passe dans un air un peu sec, et dont la température est un peu élevée, comme, par exemple, lorsqu'elle est de 18 ou 20 degrés, ou au-dessus.

1064. Mais si l'air qui reçoit la vapeur, est déjà chargé d'eau, et que sa température ne soit que de 7 à 8 degrés, ou au-dessous, alors la vapeur y devient apparente, et y forme un nuage très-sensible d'un gris blanc. Aussi voit-on fumer en hiver l'eau qu'on tire d'un puits un peu profond; ce qui n'arrive pas en été. L'apparence de cette espèce de nuage est due à ce que l'eau, qui forme la vapeur, ne peut pas se dissoudre dans un air trop humide et trop condensé.

1065. La combinaison du calorique avec les particules aqueuses, qui forme la vapeur, les raréfie au point que, dans cet état de fluide élastique, elles occupent un volume 12 ou 1400 fois plus grand que celui qu'elles avoient dans l'état de liqueur : ce qui leur donne une légèreté respective suffisante pour s'élever dans l'air, et vaincre les frottemens qu'elles éprouvent dans leur passage. C'est le même effet que celui que produit le calorique sur les bases de tous les fluides élastiques permanens dont nous avons parlé ci-devant (587 *et suiv.*)

1066. Lorsque la vapeur est exposée à un grand degré de chaleur, elle augmente considérablement de volume. La chaleur de l'eau bouillante, qui ne raréfie l'eau que de $\frac{1}{26}$ (1052), raréfie la vapeur au point de lui faire occuper un volume 13 ou 14000

fois plus grand que celui de l'eau qui l'a formée. Il est aisé de s'en assurer : prenez un tube de verre au bout duquel on aura soufflé une boule dont le diamètre soit à celui du globule d'eau qu'on fait passer dans la boule, comme 24 est à 1 : les solidités de ces deux sphères sont entr'elles comme 13824 est à 1. Faites chauffer cette goutte d'eau et la réduisez en vapeur; elle remplira la boule de verre et en chassera tout l'air; car si vous plongez alors le bout du tube dans de l'eau (un peu chaude, de peur de casser la boule), à mesure que la vapeur se condensera par le refroidissement, la pression de l'atmosphère y portera de l'eau autant qu'il en faut pour remplir la boule, donc tout l'air en avoit été chassé; donc l'eau, en se réduisant en vapeur, a rempli en entier la boule, et a pris un volume environ 14000 fois plus grand.

1067. Mais si la vapeur est retenue par des obstacles, la chaleur augmente son ressort autant qu'elle auroit augmenté son volume, si elle avoit eu la liberté de s'étendre. En vertu de cette augmentation de ressort, elle fait donc alors, contre tout ce qui lui résiste, des efforts prodigieux et capables de vaincre des obstacles considérables. On en a des exemples très-saillans dans ces superbes machines appelées *pompes à feu*, et qui sont aujourd'hui bien connues de tous les physiciens et de tous les artistes. Dans celle qui est établie à Chaillot, la vapeur soulève le piston du grand cylindre, qui a 5 pieds (1 mètre 624 millimètres) de diamètre, et qui est chargé d'une colonne d'air qui pèse plus de 43500 livres (21294 kilogrammes).

1068. L'effort de la vapeur ainsi retenue, cause

quelquefois des accidens fâcheux. On rafraîchit les canons qui ont tiré pendant un certain temps, avec l'écouvillon, qui n'est autre chose qu'un torchon mouillé attaché au bout d'un bâton. S'il arrive que le torchon remplisse trop exactement le calibre, la vapeur qui se forme dans le fond du canon, ne pouvant s'étendre, chasse l'écouvillon avec violence, et emporte quelquefois le bras du canonier. On pourroit prévenir cet accident, en employant, au lieu d'un bâton, un tuyau creux, qui donneroit une issue à la vapeur. Je suis toujours étonné qu'on ne fasse pas usage d'un moyen aussi simple, qu'il y a cependant long-temps qu'on enseigne publiquement.

L'eau considérée dans l'état de glace.

1069. Nous avons dit ci-dessus (1043) que l'eau n'est dans l'état de liqueur que lorsqu'elle est combinée avec une assez grande quantité de la matière de la chaleur pour entretenir ses parties mobiles entre elles. Lorsque, par le voisinage d'un air froid, elle perd, 1°. du calorique libre, elle se refroidit, mais demeure liqueur : si ensuite elle perd son calorique combiné, lequel est nécessaire pour soutenir ses parties, les empêcher de se réunir, et entretenir leur mobilité respective, alors ses parties se rapprochent, se touchent plus intimement, et par la force de la cohésion, adhèrent les unes aux autres, de manière à former un corps dur que l'on nomme *glace.*

1070. L'eau, en se gelant, perd donc la matière de la chaleur qui y était combinée, comme nous le verrons ci-après (1098). Ce passage de l'eau de l'état de liqueur à celui de glace, et qu'on appelle *congélation*, n'est donc dû qu'à la disette de la matière de

la chaleur ou du calorique combiné. C'est ainsi que pensent le plus grand nombre des physiciens.

1071. *De la Hire* et *Musschenbroëck* ont pensé autrement; ils ont exigé, pour la congélation, des corpuscules frigorifiques, salins ou nitreux, répandus dans l'air, qui, s'introduisant dans les pores d'un fluide, arrêtent le mouvement de ses parties, et les fixent en un corps solide et dur. Selon *Musschenbroëck*, 1°. ces corpuscules frigorifiques salins ou nitreux fixent les parties de l'eau, en s'introduisant dans ses pores; 2°. ils augmentent le volume de la glace, en la raréfiant par leur pénétration; 3°. ils en aident l'évaporation, en tendant à écarter ses parties. Voyons si tout cela s'accorde avec les connoissances acquises.

1072. Outre que l'existence de ces corpuscules frigorifiques n'est nullement prouvée, 1°. on sait que les sels, dont la plupart ont, en effet, la propriété de refroidir l'eau (1059), ont en même temps celle de la rendre plus difficile à se geler; ces sels de l'air, qui feroient précisément le contraire, seroient donc d'une nature bien différente de celle des sels que nous connoissons. De plus, en été on fait de la glace tout-à-fait semblable à celle de l'hiver: y a-t-il donc alors des parties frigorifiques en l'air? Qu'on ne dise pas qu'elles sont dans le mélange de sel et de glace dont on fait usage; car il faudroit dire aussi pourquoi ce mélange fond en devenant plus froid (1095). Ce ne sont donc pas des corpuscules frigorifiques salins qui fixent les parties de l'eau pour en faire de la glace.

1073. 2°. Si ce sont ces corpuscules salins qui augmentent le volume de la glace en la pénétrant,

pourquoi font-ils un effet tout contraire sur la plupart des matières, qui, de même que l'eau, se durcissent et se gèlent par le froid ? car la congélation des différentes substances est sans doute produite par la même cause.

1074. 3°. Comment peut-on soutenir que ces corpuscules salins hâtent l'évaporation de la glace, en tendant à en écarter les parties ? puisqu'on soutient en même temps qu'ils fixent ces parties, et font, à leur égard, l'office de colle. N'y a-t-il pas là une contradiction manifeste ? De plus, que l'on recueille avec soin de la neige ou de la grêle, venant immédiatement du nuage; qu'on la fasse fondre, et qu'on en analyse l'eau, on n'y trouvera aucun sel. Ces parties salines ne sont donc pas nécessaires pour la congélation.

1075. L'eau augmente de volume en approchant de la congélation, comme le prouve l'expérience. Le vaisseau BD (*fig.* 148), rempli d'eau jusqu'en E, étant plongé dans un vase où il y ait un mélange de sel et de glace RSTV, l'eau s'élève d'abord de E jusqu'en F; ce qui paroît venir du retrécissement subit du vaisseau, qui a été promptement plongé dans un milieu froid (1135): bientôt après, l'eau se condense à son tour, et descend peu à peu de F jusqu'en G, où elle s'arrête pendant quelque temps : mais bientôt, venant à se raréfier, elle s'élève de G en H; et peu d'instans après, par une violente raréfaction, elle se porte jusqu'en I. Alors l'eau paroît en B toute trouble, ressemblant à un nuage, et c'est alors qu'elle commence à se convertir en glace. Pendant que la glace se durcit de plus en plus, et qu'une partie de l'eau contiguë au cou du vaisseau B se congèle, l'eau con-

tinue toujours à s'élever de I vers D, et finit enfin par s'écouler en partie du vaisseau qui l'a contenoit.

1076. La glace, une fois formee, a un plus grand volume et une pesanteur spécifique moindre que celle de l'eau, car elle y surnage. Il ne faut cependant pas, ainsi que l'a fait *Galilée*, regarder la glace comme de l'eau raréfiée; elle est réellement condensée : et l'augmentation de son volume, ainsi que de celui de l'eau dans le moment de la congélation (1075) n'est due qu'à l'air, qui, étant sorti des pores de l'eau par le rapprochement de ses particules, se ramasse en bulles, qui, ne pouvant sortir de la masse, parce que la surface est communément la première gelée, se répandent dans cette masse, et y occupent de nouvelles places, que cet air n'occupoit pas lorsqu'il étoit disséminé dans les pores. C'est ainsi qu'ont pesé les plus célèbres physiciens, *Huyghens*, *Homberg*, *Mariotte* et *de Mairan*. Aussi observe-t-on que de la glace, faite avec de l'eau bien purgée d'air, est sensiblement plus pesante que l'autre; quoiqu'on n'ait pas encore pu parvenir à en faire de plus pesante ou même d'aussi pesante que l'eau, parce qu'il n'est pas possible de la purger de tout l'air qu'elle contient. Selon *de Mairan*, la glace, faite avec de l'eau purgée d'air, n'excède que de $\frac{1}{11}$ le volume d'eau qui l'a formée, tandis que la glace, faite avec de l'eau non purgée d'air, excède ce volume de $\frac{1}{9}$ ou $\frac{1}{10}$.

1077. C'est cette augmentation de volume, causée par un fluide dont l'élasticité est parfaite (907), qui donne tant de force à la glace. Les efforts qu'elle fait en certains cas sont prodigieux. Tout le monde connoît la fameuse expérience d'*Huyghens*, dans laquelle

un canon de fer épais d'un doigt, rempli d'eau et bien fermé, ayant été exposé à une forte gelée, creva en deux endroits au bout de douze heures. *Musschenbroëck*, ayant calculé l'effort qu'avoit fait la glace en pareil cas, trouva qu'il étoit équivalent à une force capable de soulever un poids de 27720 livres (13569 kiliogrammes); ce qui est presque incroyable. *Tentam. pag.* 135.

1078. On ne doit donc pas s'étonner que la glace fasse casser les vaisseaux de faïence, de porcelaine, et même de fonte, qui la contiennent; qu'elle soulève les pavés; qu'elle fasse crever les tuyaux de fontaine, qu'on n'a pas la précaution de tenir vides pendant la gelée; qu'elle fende les pierres, les arbres, etc. La plupart de ces effets n'arrivent point quand la gelée a été précédée d'un temps sec, parce qu'alors il ne se trouve point sous les pavés, ni dans les fentes des pierres et des arbres, de l'eau qui puisse se geler.

1079. Une masse de glace formée par une congélation lente, paroît assez homogène et assez transparente depuis sa surface, qui s'est gelée la première, jusqu'à quelques millimètres de profondeur; parce que les bulles d'air qui s'y forment (176) passent, tant qu'elles le peuvent, dans la partie liquide. Mais dans le reste de son intérieur, et sur-tout vers son milieu, la glace est interrompue par une grande quantité de ces bulles d'air; et la surface supérieure, qui d'abord étoit plane, se trouve élevée en bosses, et toute raboteuse.

1080. Une congélation prompte répand indifféremment les bulles d'air dans toute la masse, qui, par-là, est presque entièrement opaque, parce que le

tout est composé de petites parties de densités différentes (1468); et la surface supérieure en devient aussi plus convexe et plus inégale que dans le cas d'une congélation lente, parce que l'augmentation du volume de la glace (1076) est d'autant plus grande que la gelée est plus âpre.

1081. La glace des eaux courantes se forme tout autrement que celle des eaux dormantes. Lorsque le froid agit sur une eau tranquille, il fait geler d'abord la surface : se communiquant ensuite de couche en couche, et pénétrant l'épaisseur de l'eau, il augmente celle de la glace la première formée. La plus grande partie de l'air qui sort des pores de l'eau à mesure que ses parties se rapprochent pour se réunir et prendre une forme solide, ne pouvant s'échapper par la surface supérieure, qui est déjà gelée, gagne le dessous, et par là interrompt moins la continuité de la glace. Aussi la glace, ainsi formée, est ordinairement la plus dure, la plus unie, la plus transparente, et d'une couleur plus approchante de celle de l'eau. Il n'en est pas de même des glaçons qu'on voit flotter sur les rivières, lorsqu'elles charient; ils ont beaucoup moins de consistance, et sont comme spongieux; leur surface est inégale et raboteuse; ils sont opaques et d'une couleur blanchâtre; le dessous et les bords en sont souvent chargés d'une épaisseur assez considérable de glace impure, et remplie d'herbes, de sable, de terre, etc., et que l'on nomme *bouzin*. Il est aisé de rendre raison de ces différences, en considérant la façon dont ces glaçons sont formés.

1082. Lorsque le froid est assez grand, non-seulement l'eau se gèle aux bords des rivières et dans les anses où elle n'est point agitée par le courant,

mais aussi dans les endroits où ses parties n'ont aucune vîtesse respective, c'est-à-dire, où elles se meuvent toutes ensemble, et d'un mouvement commun qui ne les déplace point les unes à l'égard des autres : ce sont ces endroits qu'on appelle *miroirs*, qu'on voit communément aux grandes rivières, et où l'eau semble être dormante. Lorsque la surface d'un de ces miroirs est prise, il en résulte un glaçon qui est emmené par le courant ; ce qui donne lieu à un autre de se former dans la même place, et ainsi de suite. Ces glaçons, ainsi formés et isolés, étant d'abord très-minces, se brisent au premier choc ; de sorte qu'il y en a très-peu qui demeurent entiers, ou dont les fragmens se conservent d'une certaine grandeur : le reste est brisé en mille pièces par toutes sortes d'accidens. La rivière se trouve donc alors couverte de glaçons d'une certaine largeur qui suivent le courant, et d'une grande quantité de plus petits qui flottent au gré de l'eau, et que le moindre obstacle arrête. De là il arrive deux choses, 1°. les grands glaçons ayant plus de masse, et conservant, par conséquent, plus de vîtesses que les petits, ces derniers sont continuellement exposés à être rencontrés par les premiers, et contraints par-là, ou de s'amasser à leurs bords, et d'y former une croûte qui s'élève souvent au-dessus du plan, ou de passer en dessus ou en dessous, et de s'y arrêter à cause du frottement. La gelée continuant toujours, fixe ces petits glaçons aux grands, mais d'une manière imparfaite, parce qu'ils ne les touchent que par quelques points de leur surface. C'est cependant une des causes qui augmentent considérablement l'épaisseur des grands glaçons. Étant donc formés de toutes pièces mal jointes, il n'est pas éton-

nant qu'ils aient peu de consistance, qu'ils soient beaucoup moins durs que ceux des eaux dormantes, et qu'ils soient opaques et d'une couleur blanchâtre. 2°. Tous ces petits glaçons qui passent sous les grands, outre qu'ils ne s'y fixent que foiblement, ne s'attachent aussi que fort imparfaitement ensemble, et renferment entr'eux, non-seulement beaucoup d'air, mais encore beaucoup d'herbes, de sable, de terre, ou autres saletés, qu'ils ramassent dans leur route, en touchant souvent le fond. Ce sont ces derniers glaçons, ainsi réunis, qui forment ce qu'on appelle le *bouzin* (1081).

1083. C'est le bouzin qui a fait croire à la plupart des gens de rivière, et même à d'excellens physiciens, tels que *Boyle*, que les glaçons que charient les rivières, se formoient d'abord au fond de l'eau, et s'élevoient ensuite à la surface. Le raisonnement seul suffit pour faire penser le contraire; car le froid qui fait glacer l'eau, venant de l'atmosphère, ne peut avoir son effet au fond de l'eau, qu'il n'ait auparavant fait geler toute celle qui est au-dessus. De plus, dans le fond des grandes rivières, qui sont celles qui charient le plus de glaçons (car les petites sont assez promptement prises en entier), on ne trouve jamais de glaçons; ceux qui sont chariés par ces rivières, ne se sont donc pas formés dans le fond.

1084. Il est bien vrai qu'on a observé quelquefois des glaçons au fond de l'eau, sans que celle de dessus eût été gelée; mais cela ne se trouve qu'au fond des ruisseaux ou des petites rivières qui ont peu de profondeur, et jamais au fond des grandes : encore ce phénomène est-il peu fréquent. Il n'arrive

point quand la gelée est âpre, parce qu'alors les petites rivières, qui le plus souvent ne coulent qu'à leur surface, sont promptement prises en entier par la gelée. Mais ce phénomène peut avoir lieu, lorsque la gelée est peu forte, pourvu qu'elle dure un certain temps. Le froid se communique alors de proche en proche par le terrein, des deux rives jusqu'au milieu du fond : l'eau, qui, dans cet endroit, n'a qu'un mouvement très-lent, et qui est encore ralenti par le frottement qu'elle éprouve de la part du fond, peut se refroidir assez pour former des glaçons sous l'eau non gelée. Mais ces glaçons ne sont pas même de ceux qui sont chariés; car, pour qu'ils se détachassent du fond, il faudroit que le froid diminuât beaucoup; et c'est alors que les rivières ne charient plus.

1085. La surface des grandes rivières, vu la vîtesse de leur courant, se geleroit en entier beaucoup plus tard, si les glaçons n'étoient pas arrêtés par quelque obstacle, comme, par exemple, les ponts. C'est pourquoi il est bon de donner beaucoup de largeur à leurs arches, afin de laisser aux glaçons plus de liberté pour s'échapper.

1086. Quand la glace se fait assez tranquillement, et par un froid très-âpre, sa dureté est considérable : elle surpasse quelquefois celle du marbre. Il paroît que la glace est d'autant plus capable de résister à sa rupture ou à son applatissement, qu'elle est plus compacte ct plus dégagée d'air, ou qu'elle a été formée par un plus grand froid et dans des pays plus froids. Les glaces du Spitzberg et des mers d'Islande sont si dures, qu'il est très-difficile de les rompre avec le marteau. Voici une preuve bien sin-

gulière de la fermeté et de la ténacité de ces glaces septentrionales. Pendant le rigoureux hiver de 1740, on construisit à Saint-Pétersbourg, suivant les règles de la plus élégante architecture, un palais de glace de 52 $\frac{1}{2}$ pieds (17 mètres 54 millimètres) de longueur, sur 16 $\frac{1}{2}$ (5 mètres 560 millimètres) de largeur et 20 pieds (6 mètres 497 millimètres) de hauteur, sans que le poids des parties supérieures et du comble, qui étoit aussi de glace, parût endommager le moins du monde le pied de l'édifice. La Néva, rivière voisine, où la glace avoit 2 ou 3 pieds (environ $\frac{3}{4}$ de mètre) d'épaisseur, en avoit fourni les matériaux. Pour augmenter la merveille, on plaça au-devant du bâtiment six canons de glace avec leurs affûts de la même matière, et deux mortiers à bombe dans les mêmes proportions que ceux de fonte. Ces pièces de canon étoient du calibre de celles qui portent ordinairement trois livres (1 $\frac{1}{2}$ kiliogramme) de poudre : on ne leur en donna cependant qu'un quarteron (122 grammes), et on les tira; le boulet d'une de ces pièces perça, à 60 pas, une planche de 2 pouces (54 millimètres) d'épaisseur : le canon, dont l'épaisseur étoit tout au plus de 4 pouces (108 millimètres), n'éclata point par cette explosion. Ce fait peut rendre croyable ce que rapporte *Olaus-Magnus* des fortifications de glace, dont il assure que les Nations septentrionales savent faire usage dans le besoin. (*De Mairan, Dissertation sur la glace, seconde part.* 3. *sect. chap.* 3.)

1087. Si nous supposons une masse d'eau exposée dans un lieu tranquille, où la température soit de 6 à 7 degrés au-dessous de la congélation, le repos, tant de cette masse d'eau que de l'air qui la touche immédiatement,

diatement, produit souvent un effet, que j'ai observé plusieurs fois, et qu'il n'étoit pas facile de prévoir. Ce double repos empêche l'eau de se geler, quoiqu'elle ait acquis un degré de froid fort supérieur à celui qui naturellement lui fait perdre sa liquidité. De l'eau, dans cet état, vient-elle à éprouver la plus légère agitation de la part de l'air ou de qu'elqu'autre corps environnant, elle se gèle dans l'instant. Si, par exemple, elle est dans un pot, et qu'on veuille la verser, ce n'est pas de l'eau que l'on verse, c'est de la glace. C'est à *Fahrenheit* que nous devons la première observation de ce phénomène : c'est lui qui a vu le premier, avec la plus grande surprise, de l'eau refroidie au 15e degré de son thermomètre (ce qui répond à 7 $\frac{1}{7}$ degrés au-dessous de zéro du thermomètre de mercure de *de Luc*) se maintenir dans une liquidité parfaite jusqu'au moment où on l'agitoit : cette expérience a réussi de même à plusieurs autres physiciens curieux de la répéter. Ce qu'il y a de très-singulier, c'est que de l'eau, ainsi refroidie de plusieurs degrés au-dessous du terme de la glace, venant à se geler en conséquence de l'agitation qu'on lui imprime, fait monter, dans le temps qu'elle se glace, la liqueur du thermomètre au degré ordinaire de la congélation; d'où il suit que l'eau diminue de froideur en se gelant : espèce de paradoxe, qui a besoin de toute l'autorité de l'expérience pour pouvoir être cru, et que je vais tâcher d'expliquer.

1088. Le calorique combiné avec un corps, n'excite aucun degré de chaleur sensible (588). Nous verrons bientôt (1098) que pour que de la glace devienne liqueur ou que de l'eau demeure telle, il faut qu'une assez grande quantité de matière de la chaleur

soit combinée avec elle, et cette quantité de calorique combiné ne la rend pas plus chaude, ce qui ne l'empêche pas de se refroidir à mesure qu'elle perd de la matière de la chaleur libre qui la pénètre. C'est pourquoi, tant qu'elle conserve le calorique combiné, elle garde sa liquidité, quoiqu'elle se refroidisse au-dessous du terme de la congélation. Mais si elle passe à l'état de glace, elle perd nécessairement le calorique combiné, qui, prenant l'état de liberté, excite de la chaleur sensible. Voilà pourquoi cette eau diminue de froideur en se gelant.

1089. Lorsque l'eau n'est pas pure, lorsqu'elle se trouve mêlée de substances étrangères, il faut un plus grand degré de froid pour lui faire prendre l'état de glace; et ce degré de froid doit être plus ou moins considérable, suivant la nature et la quantité des substances mêlées à l'eau. Voilà pourquoi les sels, le sucre, les esprits retardent la congélation de l'eau. Ces substances produisent à-peu-près dans l'eau le même effet qu'y fait la matière de la chaleur, soit libre, soit combinée; leurs particules étant placées entre chaque particule d'eau, les empêchent de se réunir, et leur conservent aisni leur mobilité respective, jusqu'à ce qu'enfin la force de la cohésion resserre ces parties, et oblige ces substances étrangères à s'extravaser en quelque sorte, et à passer dans la partie encore liquide. Voilà pourquoi, quand de l'eau chargée de sel, de sucre ou d'esprits, se gèle, le centre du glaçon se trouve, plus que le reste, chargé de ces substances, et cette glace est plus froide que la glace d'eau pure. Il en est ainsi de toutes les glaces que nous prenons en été : et comme il y en a qui sont plus chargées que d'autres de sucre ou d'esprits, il

y en a aussi qui sont de beaucoup plus froides les unes que les autres.

1090. Tout le monde sait que les fruits se gèlent pendant les hivers qui sont un peu rudes. Dans cet état, ils perdent ordinairement tout leur goût; et lorsque le dégel arrive, on les voit le plus souvent tomber en pourriture. Les parties aqueuses que ces fruits contiennent en grande quantité, étant changées en autant de petits glaçons dont le volume augmente (1076), brisent et crèvent les petits vaisseaux qui les renferment, ce qui détruit l'organisation.

1091. On observe quelque chose de semblable même sur les hommes et les animaux qui habitent les pays froids. Il n'est pas rare d'y voir des gens qui ont perdu le nez ou les oreilles, pour avoir eté exposés à une forte gelée. Ces accidens ne sont pas même sans exemples dans les climats tempérés : j'ai été témoin d'un accident de cette espèce, arrivé dans le département de la Vendée, et qui fut bien funeste à deux bateliers: ils perdirent tous les doigts de chaque main, parce qu'on les fit dégeler trop promptement. Quand un membre a été gelé, on ne peut espérer de le sauver, qu'en le faisant dégeler fort lentement, en le tenant, par exemple, dans un lieu où il ne gèle pas, plongé pendant quelque temps dans de la neige ou de la glace pilée, jusqu'à ce qu'elle soit fondue : après quoi on le passe dans de l'eau un peu moins froide; ensuite dans de l'eau un peu tiède, et ainsi de suite, en l'échauffant peu à peu, et par des degrés qui croissent très-lentement. La lenteur du dégel est absolument nécessaire. Une fonte trop brusque, qui ne laisseroit pas aux parties d'un corps gelé le temps de reprendre l'ordre

qu'elles ont perdu, détruiroit dans ce corps l'organisation qu'on y veut conserver.

1092. Il suit de là que les fruits qui sont gelés sur les arbres, sont perdus sans ressource, s'il survient un dégel trop prompt. Un pareil dégel n'est guère moins nuisible qu'une forte gelée qui succède tout-à-coup à une très-grande humidité.

1093. Il n'en est pas de même du froid qui fait geler l'eau, comme de la chaleur qui la fait bouillir : l'eau qui bout n'augmente plus de chaleur, quelque long-temps qu'on la chauffe (1052) : mais la glace étant une fois formée, si elle se trouve exposée à un froid qui dure un certain temps, et qui aille en augmentant, elle devient toujours de plus en plus froide.

1094. La glace peut aussi devenir plus froide artificiellement, et cela en y mêlant des sels ou des esprits ardens ou acides. De tous les sels, celui qui est le plus propre à refroidir la glace, est le sel marin ou muriate de soude; et la dose la plus convenable est trois parties de sel et huit parties de glace, mesurant par le poids.

1095. Ce qu'il y a de singulier, c'est que ces sels ou esprits font fondre la glace en la refroidissant. De la glace qui ne peut être glace que par le froid, et qui cependant cesse d'être glace en se refroidissant, est un phénomène bien singulier, et très-difficile à expliquer pour ceux qui font consister la liquidité dans un mouvement actuel des parties du liquide, et qui prétendent que les sels refroidissent l'eau, parce qu'ils ralentissent ce mouvement; car, dans le cas présent, les sels rendent la liquidité à la glace : donc,

selon eux, ils ne ralentissent pas le mouvement, ils le raniment : cependant ils la refroidissent; donc ce froid n'est pas le signe d'un mouvement ralenti. Mais ce phénomène devient aisé à expliquer, en disant que la mobilité respective des partie s suffit pour la liquidité, et que la diminution de la quantité de la matière de la chaleur en état de liberté, suffit pour le refroidissement. Or, c'est ce qui a lieu dans le cas dont il s'agit; car le sel et la glace, en se pénétrant mutuellement, 1°. rétablissent cette mobilité respective des parties, ce qui aide la glace à se fondre; 2°. ils chassent pour un temps de leurs pores une portion de la matière de la chaleur libre qui y étoit, et il y en a une partie qui perd sa liberté en se combinant avec la glace pour la faire devenir liqueur: c'est pourquoi le mélange se refroidit. Cette pénétration mutuelle du sel et de la glace est prouvée d'une manière incontestable, 1°. par la fusion réciproque de ces deux substances; 2°. parce qu'elles occupent après la fusion moins d'espace qu'auparavant. Or cette fusion est une condition absolument essentielle au refroidissement; car si l'on dessèche la glace et le sel par un froid de 12 ou 14 degrés, de manière qu'il ne reste plus rien d'humide qui puisse commencer la fusion, le mélange ne se refroidit pas, parce qu'il n'y a ni fusion ni pénétration. Et si l'on disoit que la glace est alors tellement refroidie que son froid ne peut plus augmenter, on seroit convaincu du contraire en versant sur cette glace de l'esprit-de-vin ou de l'acide nitrique ou muriatique : le refroidissement seroit considérable, et pourroit aller jusqu'à 30 degrés.

1096. Quoique la glace soit un corps solide et

très-dur (1086), elle s'évapore considérablement, et même plus que de l'eau en temps égal. Cela vient, ainsi que l'a pensé *de Mairan*, de la contexture particulière de la glace, qui, occupant un plus grand volume que l'eau (1076), offrant une plus grande superficie hérissée d'un grand nombre d'inégalités, doit, par cela même, nonobstant sa dureté, donner plus de prise à la cause générale de l'évaporation (1062). On peut ajouter à cette cause que la sécheresse de l'air et le vent, accompagnant presque toujours dans nos climats les grandes gelées, doivent augmenter de beaucoup l'évaporation ; car un air sec est plus disposé à se charger de vapeurs, qui s'élèvent d'ailleurs en plus grande quantité quand cet air est sans cesse renouvelé.

1097. Sitôt que la chaleur se ranime dans l'air, et qu'elle devient supérieure au degré qui opère la congélation, la glace se combine avec le calorique, et fond ; et sa fusion est plus ou moins prompte, suivant la densité des corps qui la touchent, en supposant tous ces corps d'une température égale. Aussi la glace fond-elle plus promptement dans l'eau que dans l'air, plus promptement sur du marbre que sur du bois, parce que ces premiers corps étant plus denses, touchent la glace en un plus grand nombre de points, et par-là lui communiquent plus promptement de leur chaleur. Le dégel n'est jamais plus général et plus prompt, que par un vent de sud doux et humide.

1098. La glace ne se fond qu'en se combinant avec une assez grande quantité de matière de la chaleur, laquelle n'ajoute rien à sa température (588). Il est aisé de s'en convaincre par l'expérience sui-

vante. Mettez dans un vase convenable un kilogramme de glace pilée ; plongez-y un thermomètre de mercure de *de Luc*, lequel est divisé en 80 degrés depuis le terme de la congélation, jusqu'à celui de l'eau bouillante; cet instrument s'y fixera à zéro ou terme de la congélation. Versez sur cette glace pilée un kiliogramme d'eau chauffée à 60 degrés; au bout de quelques instans la glace sera entièrement fondue, et la température du mélange se trouvera encore à zéro. Ce qui prouve que toute la matière de la chaleur libre, capable de faire sentir ces 60 degrés de chaud, s'est combinée avec la glace pour la faire passer à l'état de liqueur, et n'en a point augmenté la température. Il n'en seroit pas ainsi, si, avant le mélange, la glace étoit déjà en liqueur, n'eût-elle qu'une température de 1 degré au-dessus de la congélation, ou même quand elle auroit une température de 6 degrés au-dessous: alors la température du mélange seroit la moitié de la somme des deux. Si la température de l'eau froide étoit de 1 degré au-dessus de la congélation, celle du mélange seroit de 30 $\frac{1}{2}$ degrés, moitié de 60 plus un ; et si la température de l'eau froide étoit de 6 degrés au-dessous de la congélation, celle du mélange seroit de 27 degrés, moitié de 60 moins 6. *Lavoisier* et *de la Place* (*Mémoires de l'Académie*, 1780, *page* 373) ont énoncé ce phénomène, indépendamment des divisions arbitraires des poids et du thermomètre, d'une manière générale et comme il suit : *La chaleur nécessaire pour fondre la glace, est égale aux trois quarts de celle qui peut élever le même poids d'eau de la température de la glace fondante à celle de l'eau bouillante.*

CHAPITRE XIII.

De la nature et des propriétés du Feu

1099. Ce que l'on appelle vulgairement *feu*, n'est autre chose qu'un corps embrasé; dont les parties se désunissent et s'évaporent en fumée, en flamme, en vapeur, etc. Aux yeux d'un physicien, cet embrasement n'est que l'effet d'une cause qui s'est long-temps dérobée à nos recherches, mais de laquelle nous pouvons dire que nous avons aujourd'hui plus de connoissance que nous n'en avions ci-devant. On convient donc unanimement aujourd'hui que ce qui cause l'embrasement des corps est une vraie matière, mais qui a besoin d'être excitée pour agir. Et comme la matière qui fait embraser les corps est capable de nous éclairer, et que celle qui les rend visibles est capable de les embraser, il est assez raisonnable de penser que le principe du feu et celui de la lumière sont une seule et même substance, mais différemment modifiée. Comme principe de l'embrasement, cette matière se nomme *calorique*; comme principe de la clarté, elle se nomme *lumière*.

1100. Examinons premièrement cette matière comme cause de la chaleur et de l'embrasement; et voyons, 1°. quelle est sa nature; 2°. quels sont les moyens d'exciter son action; 3°. de quelle manière cette action se propage; 4°. quels sont ses effets sur les corps; 5°. quels sont les moyens d'augmenter son action, ou de la diminuer, ou même de la faire cesser.

De la nature du Feu.

1101. Le principe du feu est un fluide très-subtil, très-rare, très-élastique, non pesant, répandu dans toute la sphère de l'univers, qui pénètre les corps avec plus ou moins de facilité, qui tend, lorsqu'il est libre, à se mettre en équilibre dans tous, et auquel on a successivement donné les noms de *principe inflammable, principe de la chaleur, matière de la chaleur*, et que les modernes ont appelé *le calorique*.

1102. Ce fluide pénètre de part en part tous les corps, même les plus durs; il se combine avec plusieurs, il tend à se répandre uniformément. Seul, il suffit pour échauffer les corps, mais seul, il ne suffit pas pour les brûler, il faut qu'il soit aidé par un autre fluide, qui est l'air pur (664); et le concours de ces deux fluides ne suffit même pas, si leur action n'est excité par quelques moyens que les hommes seuls savent employer.

1103. La matière de la chaleur est d'une nature fixe et inaltérable; elle est tellement fluide, qu'elle ne cesse jamais de l'être, à moins qu'elle ne se combine avec certains corps: de plus elle est la principale cause de la fluidité des corps. C'est par son action que leurs parties s'écartent, se séparent les unes des autres, perdent leur adhérence, et reçoivent enfin cette mobilité respective en quoi consiste leur fluidité. C'est par le ralentissement de son action ou par son absence que les parties se rapprochent, adhèrent les unes aux autres, se lient et reprennent enfin la consistance qu'elle leur avoit fait perdre. Je pense même qu'on peut dire que la matière de la chaleur est la

seule substance fluide par elle-même, et que, sans elle, rien ne contrebalançant la tendance générale que toutes les parties de la matière ont les unes vers les autres (194), elles seroient unies toutes ensemble de manière à ne former qu'un solide.

1104. La matière de la chaleur est capable d'entamer les corps les plus durs : rien ne lui résiste, et elle résiste à tout. On peut la regarder comme un dissolvant universel; propriété qui la distingue essentiellement de toutes les autres substances.

1105. La matière de la chaleur est présente partout : tous les corps en sont comme imbibés. Elle est dans la terre que nous habitons, dans l'air que nous respirons, dans les alimens qui nous nourrissent, dans nous-mêmes ; et quoiqu'elle soit capable de tout détruire, de tout consumer, comme son action n'est jamais d'elle-même assez forte pour causer l'embrasement (1102), bien loin de nous nuire, c'est par elle que nous vivons : elle fait partie du fluide que nous respirons (647), et elle est presque la seule portion de ce fluide qui serve à entretenir la vie (956).

1106. La matière de la chaleur ou le calorique existe souvent dans les corps en deux états ; dans celui de combinaison, et dans celui de liberté (588). Dans le premier état, cette matière n'excite aucune chaleur sensible à nos organes ; au contraire, dans l'état de liberté, elle excite une chaleur d'autant plus forte, qu'elle est plus abondante.

1107. A température égale, les différens corps ne contiennent point, sous le même volume, une égale quantité de la matière de la chaleur ou du calorique combiné; et il y a entr'eux, à cet égard, des

différences indépendantes de leurs densités respectives. On a cherché à mesurer cette quantité de calorique que sont capables de contenir les différentes espèces de corps : *Lavoisier* et *de la Place* (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1780, *page* 355) ont fait, dans cette vue, des expériences ingénieuses. Pour bien entendre ceci, il faut savoir que, lorsqu'on rend libre la matière de la chaleur combinée dans un corps, il en résulte un degré de chaleur sensible d'autant plus fort, qu'il s'en dégage davantage. C'est cette quantité de matière de la chaleur combinée dans ce corps, qu'on a appelée sa *chaleur spécifique*. Pour la mesurer, ces messieurs ont placé les corps dans un vase intérieur entouré d'un autre vase rempli de glace, laquelle étoit elle-même garantie de la chaleur de l'atmosphère par un autre entourage de glace contenue dans un troisième vase qui entouroit le second. Le calorique qui se dégage du corps mis en expérience, fait passer une partie de la glace du second vase de l'état de solide à l'état de liquide, en se combinant avec elle; et par conséquent sans rien ajouter à sa température (1098). Cete portion de glace fondue s'écoule dans un vase placé au-dessous de la machine. On sait quelle est la quantité de calorique qui doit se combiner avec la glace pour la faire fondre (1098) : la quantité de glace fondue dénote donc la quantité de calorique qui s'est dégagée du corps mis en expérience, ce qui détermine sa *chaleur spécifique*.

1108. Il résulte de ce quenous venons de dire (1107) que, dans le passage d'un corps de l'état solide à l'état fluide, il y a une grande quantité de chaleur qui est absorbée, en se combinant avec ce corps;

voilà pourquoi, dans le moment du dégel, le froid est encore très-sensible. La même chose arrive dans le passage de l'état fluide à celui de vapeurs ; voilà pourquoi toutes les fois qu'une substance s'évapore de dessus un corps, elle le refroidit (1171). Le contraire arrive, c'est-à-dire, qu'il y a de la chaleur produite, lorsqu'un corps passe de l'état de vapeurs à celui de fluide, ou de l'état de fluide à celui de solide.

1109. Si donc, dans une combinaison ou dans un changement d'état quelconque, il y a une diminution de chaleur libre, cette chaleur reparoîtra toute entière, lorsque les substances reviendront à leur premier état, et réciproquement si, dans la combinaison ou le changement d'état, il y a une augmentation de chaleur libre, cette nouvelle chaleur disparoîtra dans le retour des substances à leur état primitif. Ce principe est confirmé par l'expérience, et *Lavoisier* et *de la Place* (*Mémoire de l'Académie des Sciences*, année 1780, *page* 559) l'ont généralisé et étendu à tous les phénomènes de la chaleur, de la manière suivante : *Toutes les variations de chaleur, soit réelles, soit apparentes, qu'éprouve un système de corps en changeant d'état, se reproduisent dans un ordre inverse, lorsque le système repasse à son premier état.*

Des moyens par lesquels on peut exciter l'action du Feu.

1110. Nous n'employons communément, pour exciter l'action du feu, qu'un de ces trois moyens ; savoir, 1°. le choc ou le frottement des corps solides ; 2°. la fermentation ou l'effervescence ; 3°. la réunion des rayons solaires.

1111. *Premier moyen.* Le choc ou le frottement des corps solides est le moyen le plus fréquemment employé pour exciter l'action du feu. On sait qu'on commence à allumer du feu en frottant ou heurtant un briquet ou un fusil d'acier trempé contre une pierre. Il n'y a point de corps solides qu'on ne puisse du moins échauffer en les heurtant ou les frottant; et il y en a peu dont la chaleur, ainsi excitée, ne puisse augmenter au point de les faire étinceler ou de les embraser; car alors le calorique libre qui est dans ces corps s'anime, et par sa pénétration entre les parties, les dispose à se combiner avec l'oxigène que fournit l'air ambiant. Or c'est en cette combinaison que consiste la combustion (653). Mais ces effets sont plus ou moins prompts, plus ou moins grands, selon la nature des corps que l'on frotte ou que l'on heurte, et selon la durée ou la violence des chocs ou des frottemens. Pour ce qui regarde la nature des corps, ce sont ceux qui ont le plus de ténacité et de ressort, qui sont les plus propres à s'échauffer ou à s'enflammer par les chocs ou le frottement; et comme l'effet du frottement croît par la pression et la vîtesse (100 et 106), plus la collision est violente et fréquente, plus aussi elle est efficace. En effet, on peut faire rougir une lame d'acier médiocrement chauffée, en la frappant à coups redoublés sur une enclume : cela n'arriveroit pas à une lame de plomb, car le plomb ne rougit qu'après être fondu; il faudroit donc qu'il fondît sous le marteau, ce qui n'arrive pas. Si l'on frotte des bois pour les enflammer, ce sont ceux qui sont les plus durs et les plus secs qui s'allument le plus aisément. Si l'on se laisse glisser le long d'une corde, son frottement contre les mains y produit

des ampoules, comme si l'on eût empoigné un fer rouge.

1112. *Second moyen.* La fermentation et l'effervescence ne peuvent avoir lieu sans exciter de la chaleur, qui va quelquefois jusqu'à l'embrasement. Si l'on mêle ensemble deux substances qui soient très-disposées à se pénétrer mutuellement, à s'introduire dans les pores l'une de l'autre, il s'excite une effervescence qui produit de la chaleur.

1113. Expérience. Versez un acide sur un alkali, il s'excitera une effervescence qui produira une chaleur sensible. Mêlez à de l'eau de l'acide sulfurique bien déphlegmé; il se produira une chaleur très-vive, et qui peut l'être assez pour faire casser le vase, s'il est de matière fragile. Jetez sur de l'huile un acide très-concentré, comme de l'acide nitrique très-déphlegmé; la fermentation peut être assez vive pour que le feu y prenne sur-le-champ. Un mélange d'eau et d'esprit-de-vin s'échauffe aussi assez sensiblement. Tous ces effets sont produits par les frottemens occasionnés par la pénétration mutuelle des deux substances; car les chocs ou les frottemens agitent les particules des corps, ainsi que la matière de la chaleur libre qui est logée dans leurs pores : ce mouvement ajoute à l'action de cette matière de la chaleur, laquelle peut bien être augmentée ou diminuée, mais qui n'est jamais totalement interrompue. De là résulte le degré de chaleur qui se fait sentir; et s'il est très-grand, la combinaison avec l'oxigène (1111) a lieu, d'où suit l'embrasement.

1114. La pénétration mutuelle des deux substances, dont nous venons de parler (1113), est prou-

vée par l'expérience; car le volume est moindre après le mélange qu'auparavant. Si l'on mêle ensemble un litre d'eau et un litre d'esprit-de-vin, le mélange ne sera pas suffisant pour remplir un vase de la capacité de deux litres : donc il y a pénétration des deux substances dans les pores l'une de l'autre. (*Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1733, *page* 165; et année 1769, *page* 433.)

1115. Nous avons dit ci-devant (1095) que l'esprit-de-vin jeté sur la glace, la refroidit, en la faisant fondre : nous venons de voir (1113) que l'esprit-de-vin mêlé à l'eau, l'échauffe; deux effets qui paroissent opposés, quoiqu'ils soient produits par la même cause; car dans l'un et l'autre cas, c'est le mélange des deux mêmes substances. La différence de ces deux effets dépend de bien peu de chose; car un degré de chaleur de plus ou de moins fait que l'eau est liqueur ou glace : or, cela vient de cette différence d'état. Dans l'un et l'autre cas, il y a pénétration mutuelle des deux substances; ce qui chasse pour un temps une portion de la matière de la chaleur libre, et cause du refroidissement : cette pénétration occasionne des frottemens, qui excitent l'action de la matière de la chaleur qui demeure, et élèvent de quelques degrés la température. Il y a donc là deux effets opposés, dont on n'apperçoit que l'excès du plus fort sur le plus foible. Dans l'eau, la pénétration est très-prompte; les frottemens sont donc alors assez vifs pour faire plus que compenser la perte de la matière de la chaleur : en conséquence, la chaleur excitée par les frottemens surpasse le refroidissement causé par l'absence du calorique. Au contraire, dans la glace, la pénétration est lente, ainsi que les frottemens,

qui, pour cette raison, ne produisent que peu d'effet; la chaleur qu'ils excitent n'est donc pas capable de compenser le refroidissement causé par la perte du calorique libre qu'occasionne la pénétration. De plus, il faut une assez grande quantité de nouveau calorique combiné avec la glace, pour la faire passer à l'état de liqueur (1095, 1098). Voilà pourquoi, dans ce cas-là, on n'apperçoit que du refroidissement.

1116. La putréfaction est elle-même une vraie fermentation : aussi tous les corps qui se pourrissent en se combinant avec la base de l'air pur, s'échauffent par l'état de liberté que prend son calorique. Du foin serré avant d'être sec, peut fermenter et s'échauffer au point de s'embraser, et de mettre le feu au grenier.

1117. *Troisième moyen.* Les rayons solaires échauffent tous les corps qui sont exposés à leur action. Ces rayons sont certainement composés de la matière de la chaleur animée et mise en action par le soleil (1099) : cette matière s'insinue donc entre les particules des corps, et ajoute à la quantité que ces corps en contenoient déjà : de là résulte le degré de chaleur qui se fait sentir.

1118. Ce degré de chaleur est toujours beaucoup au-dessous de celui qui est nécessaire pour l'embrasement : aussi n'a-t-on jamais vu de corps s'embraser pour avoir été seulement exposés aux rayons du soleil. Mais ces mêmes rayons sont capables de fondre ou de brûler les corps fusibles ou combustibles sur lesquels on les multiplie : ce qui peut se faire de plusieurs manières.

1119. Expérience. Que sur un grand nombre de petits

petits miroirs plans on reçoive les rayons solaires, et qu'on les dirige sur un même corps. Ce corps sera d'autant plus échauffé, qu'on fera tomber sur lui un plus grand nombre de ces rayons. Mais si l'on veut les multiplier davantage, il faut faire les expériences suivantes.

1120. EXPÉRIENCE. Présentez aux rayons solaires un miroir concave, de manière que le plan du miroir soit, le plus qu'il sera possible, perpendiculaire aux rayons incidens. Il se formera, au-devant de ce miroir, un cône de lumière très-vive. Nous en verrons la raison ci-après (1261), en traitant de la Catoptrique. Si, au sommet de ce cône lumineux (point que l'on appelle *foyer* du miroir), on place quelques corps, ils y fondent, brûlent, se calcinent ou se vitrifient très-promptement, suivant leur nature. La surface d'un miroir concave est composée de lignes circulaires; mais un cercle est un polygone d'une infinité de côtés : la surface de ce miroir est donc un assemblage de très-petits miroirs plans, insensiblement inclinés entr'eux. Chacun d'eux réfléchit vers un même point les rayons qu'il reçoit; ce qui rassemble ces images dans un très-petit espace. Leur nombre est d'autant plus grand, que la surface du miroir a plus d'étendue, que ce miroir a un plus grand diamètre. On conçoit aisément que ces images, ainsi multipliées sur un même corps, peuvent former un foyer assez ardent pour produire les effets que nous avons annoncés.

1121. EXPÉRIENCE. Si l'on présente aux rayons solaires une lentille convexe de verre, de manière que son axe prolongé soit parallèle, ou à-peu-près, aux rayons incidens, il se forme, derrière la lentille

un cône de lumière fort vive, de même qu'il s'en forme un, en pareille circonstance, au-devant d'un miroir concave (1120); nous en verrons la raison ci-après (1355), en traitant de la Dioptrique. Si au sommet de ce cône lumineux (point que l'on appelle *foyer* de la lentille) on place quelques corps, ils y éprouvent les mêmes effets qu'au foyer du miroir concave (1120). D'où l'on doit conclure que, de quelque manière que les rayons solaires soient réunis, ils produisent une chaleur d'autant plus active, qu'ils se trouvent rassemblés en plus grande quantité dans un plus petit espace.

1122. L'activité du foyer d'une lentille est relative, non-seulement au nombre des royens réunis dans un espace donné, et par conséquent à l'étendue de la surface de la lentille, ou à la grandeur de son diamètre; mais encore à la manière dont ces rayons se réunissent : car si entre une lentille et son foyer, vers la moitié ou les deux tiers de la longueur de l'axe du cône lumineux, on place une seconde lentille convexe, qui ne manquera pas de rendre les rayons plus convergens, l'activité du foyer en sera considérablement augmentée, quoiqu'il s'y trouve un moindre nombre de rayons réunis; puisque plusieurs sont interceptés par les parties solides de la lentille. D'où il suit que *le foyer est d'autant plus actif, que les rayons se réunissent en formant entr'eux des angles plus ouverts.* En effet, l'expérience m'a appris que les rayons qui passent vers les bords de la lentille, ont leur point de réunion plus près de la lentille, et forment entr'eux des angles plus ouverts, que ne le font ceux qui passent vers l'axe; et qu'en même temps ceux des bords forment un foyer plus actif que celui

qui est formé par les autres. (*Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences*, année 1774, *page* 67).

1123. Les effets produits sur les corps par une lentille exposée aux rayons solaires, dépendent uniquement de la transparence et de la figure : tout corps transparent ayant la figure lenticulaire, produira donc les mêmes effets. Ainsi, si à un morceau de glace d'eau on donne une pareille figure, et qu'on l'expose aux rayons solaires, il se formera derrière elle un foyer brûlant. Une liqueur quelconque, bien transparente, telle que de l'eau, de l'esprit-de-vin, de l'huile de térébenthine, etc. placée entre deux calottes sphériques de verre, produit les mêmes effets.

1124. On peut dire la même chose des miroirs concaves : leurs effets ne dépendent que de la figure et du poli de la surface; car on a fait des miroirs de plâtre, de carton, de paille, qui ont formé des foyers brûlans.

1125. Les rayons solaires ne paroissent produire de la chaleur, que lorsqu'ils agissent sur quelques corps. J'ai placé mon doigt tout près du foyer de la grande lentille de *Trudaine*, qui a 4 pieds (13 décimètres) de diamètre : je n'y ai pas senti plus de chaleur que si j'en eusse été éloigné de 20 picds (6 à 7 mètres) Mais lorsque je plongeois quelque corps dans ce foyer, il se répandoit toute autour une chaleur si vive, que mon visage la soutenoit à peine.

On pourroit ajouter un *quatrième moyen*, qui est de souffler le feu avec l'air vital : c'est la chaleur la plus active qu'on puisse produire.

De la manière dont l'action du Feu se propage.

1126. L'action du feu se propage dans les corps de deux façons : 1°. elle n'y cause qu'un léger mouvement intestin, d'où il résulte une augmentation de chaleur qui écarte les unes des autres les parties du corps chauffé, car ce corps augmente de volume (1134); ce corps devient donc plus chaud et plus grand qu'il n'étoit auparavant, par la chaleur qu'on lui a communiquée. Tel est, par exemple, un morceau de métal ou une pierre exposée auprès du feu ou aux rayons du soleil. 2°. Cette action du feu agite tellement la matière propre du corps qui y est exposé, qu'elle en désunit les molécules, et que souvent elle les enlève et les dissipe, comme cela arrive à un morceau de bois que l'on place sur des charbons ardens.

1127. Lorsqu'il n'y a que communication de chaleur, tout paroît se passer conformément aux loix connues : la chaleur acquise par un corps est perdue par celui qui la lui communique. Le corps qui en acquiert devient plus chaud qu'il n'étoit, celui qui en communique devient moins chaud; et cette variation continue d'avoir lieu, si on leur en donne le temps, jusqu'à ce que les deux corps soient arrivés à une température égale, laquelle est toujours plus forte que n'étoit celle du corps qui en a acquis; mais aussi toujours plus foible que n'étoit celle du corps qui en a communiqué. C'est ainsi qu'un corps auquel on a imprimé une certaine quantité de mouvement, en perd toujours de plus en plus, à mesure qu'il en

communique à une plus grande quantité de matière (141).

1128. Il n'en est pas de même, lorsque la chaleur est portée jusqu'à l'embrasement : alors l'action du feu se propage avec accroissement; ses effets deviennent toujours de plus grands en plus grands, à mesure qu'il agit sur une plus grande quantité de matière: en un mot, une étincelle devient un incendie. Il est aisé, d'après ce que nous avons dit, de rendre raison de ce singulier phénomène.

1129. Le calorique combiné avec une substance quelconque, ne fait sentir aucune chaleur (588), mais la chaleur devient d'autant plus grande, et ses effets sont d'autant plus rapides, qu'il y a une plus grande quantité de calorique qui prend l'état de liberté (1106). Voyons donc ce qui fournit cette grande quantité de calorique libre dans la combustion des corps. Les corps ne peuvent brûler qu'en contact avec l'air pur (661); parce que la combustion consiste dans la combinaison de la base de cet air, appelée *oxigène*, avec le corps combustible (653). Or l'air pur contient une grande quantité de calorique combiné avec sa base, avec l'oxigène (647 et 662). Lors donc que son oxigène se combine avec le corps qui brûle, son calorique prend l'état de liberté, et se réunit à celui qui avoit déjà occasionné le commencement de l'embrasement. De là résulte une augmentation de chaleur, qui dispose un plus grand nombre de particules du corps combustible à se combiner avec l'oxigène fourni par l'air qui se renouvelle; car si ce renouvellement de l'air n'a pas lieu, la combustion cesse (643 et 653). Ce nouvel oxigène, en se combinant avec le corps combustible, abandonne pareil-

lement son calorique, lequel, devenant libre, s'échappe avec les caractères qu'on lui connoît, c'est-à-dire, avec chaleur, lumière et flamme : et plus il y aura d'oxigène, ainsi combiné et fixé dans un temps donné, plus aussi il y aura de calorique qui deviendra libre à-la-fois; et plus par conséquent l'embrasement sera éclatant et rapide. Il est maintenant aisé de voir pourquoi les progrès de l'inflammation se font toujours avec accroissement.

1130. Dans toute combustion il y a donc de l'air pur décomposé, du calorique dégagé et devenu libre, et par conséquent de la chaleur produite; mais une chaleur plus ou moins grande, suivant la nature du corps qui brûle. Car, suivant les expériences de *Lavoisier* et *de la Place* (*Mémoires de l'Académie des Sciences*, an. 1780, *pag.* 397), une once (30 grammes 594 milligrammes) de charbon, en brûlant, consomme 4037,5 pouces cubes (8 décalitres) d'air pur, et forme 3021,1 pouces cubes (environ 6 décalitres) de gas acide carbonique. Cette once (30 grammes 594 milligrammes) de charbon, consomme donc 3 onces 4 gros $2^{\text{gr.}}$,7500 (107 grammes 225 milligram. d'air pur (656); et forme 3 onces 5 gros $11^{\text{gr.}}$,6645 (111 grammes 523 millig.) de gas acide carbonique (759): d'où il suit qu'une once (30 grammes 594 milligrammes) de charbon fournit 1 gros $8^{\text{gr.}}$,9145 (4298 milligrammes) de carbone, ou un peu moins de $\frac{1}{7}$ de son poids. Mais comme la combinaison de la base de l'air pur ou de l'oxigène avec le carbone forme ici un nouveau fluide élastique, en se combinant avec une partie du calorique, il y a peu de chaleur produite : au lieu que la chaleur qui se dégage de l'air

pur, lorsque sa base se combine avec le phosphore qui brûle, est à-peu-près 2 $\frac{1}{3}$ fois aussi grande que lorsque cet air pur se change en gas acide carbonique; car, dans le premier cas, cette chaleur peut fondre 68 onces et environ 5 gros (2 $\frac{1}{10}$ kilogrammes) de glace; et dans le second cas, elle n'en peut faire fondre que 29 onces 4 gros (9 hectogrammes 2 grammes 526 milligrammes.)

1131. Les corps combustibles sont donc ceux qui ont plus d'affinité avec l'oxigène, que n'en a ce dernier avec la matière de la chaleur ou le calorique; et plus cette affinité, cette disposition à se combiner avec l'oxigène est grande, plus les corps sont combustibles. Ce n'est donc point, comme on l'avoit cru, le calorique qui leur est combiné, qui les rend tels: il est même probable que les corps les plus combustibles en contiennent très-peu, ou même point du tout, tels que le soufre et le phosphore.

1132. Une réflexion frappante, dit *Lavoisier* (*Mém. de l'Acad. des Sciences*, an. 1777, *pag.* 598), et qui vient à l'appui des précédentes, c'est que presque tous les corps peuvent exister dans trois états différens, ou sous forme solide, ou sous forme liquide, c'est-à-dire, fondus, ou sous forme de fluide élastique : ces trois états ne dépendent que de la quantité plus ou moins grande de calorique dont ces corps sont pénétrés, et avec lequel ils sont combinés. La fluidité et l'élasticité sont donc les propriétés caractéristiques de la présence du calorique et d'une grande abondance de calorique : la solidité, la compacité au contraire sont les preuves de son absence. Autant donc il est prouvé que les substances aériformes, et l'air lui-même, contiennent une grande

quantité de calorique combiné, autant il est probable que les corps solides en contiennent peu.

Des effets du Feu sur les corps.

1133. Les principaux effets du feu sur les corps consistent, 1°. à les raréfier; 2. à les faire passer de l'état de solide à celui de fluide; 3. à les convertir en vapeurs.

1134. *Premier effet.* Le premier changement qui arrive à un corps exposé à l'action de la matière de la chaleur, est la raréfaction de sa masse, l'augmentation de son volume : et cet effet est si général, qu'il peut être regardé comme le caractère distinctif du feu ou de la chaleur. Il y a bien certaines substances qui en pénètrent d'autres, et qui en même temps les raréfient, mais il n'y a que la matière de la chaleur qui s'insinue, sans exception, dans tous les corps, et qui, si son action est continuée, finisse par désunir leurs parties.

1135. Expérience. Prenez une boule de verre A (*fig.* 149.) placée à l'extrémité d'un tube A *a* : remplissez-la d'eau, ainsi qu'une partie de la longueur du tube, par exemple, jusqu'en *a*, point que vous marquerez avec un fil. Plongez cette boule (qui doit être mince) dans de l'eau presque bouillante : dans le moment de l'immersion de la boule, vous verrez l'eau du tube s'abaisser de plusieurs millimètres au-dessous du point *a* : et si, le moment d'après, vous la retirez de l'eau chaude, la même eau s'élèvera au-dessus du point *a*. La matière de la chaleur tend à se répandre uniformément partout (1102) : elle passe donc de l'eau chaude dans la boule de verre

et l'eau qu'elle contient, ce qui raréfie l'une et l'autre. Il est bien évident que l'eau de la boule n'est pas condensée, qu'au contraire elle est raréfiée, puisqu'elle s'élève au-dessus du point *a*. L'abaissement de l'eau au-dessous de ce point, dans le premier moment de l'immersion, ne peut donc pas être attribué à la condensation de l'eau : il est dû à l'agrandissement de la capacité de la boule; donc le verre est aussi raréfié. L'eau commence à descendre avant de remonter, parce que la boule étant en contact immédiat avec l'eau chaude, est la première pénétrée par la matière de la chaleur : l'agrandissement de sa capacité précède donc la raréfaction de l'eau qu'elle contient; voilà pourquoi cette eau commence par s'abaisser au dessous du point *a*.

1136. J'ai dit (1135) que la boule de verre de cette expérience doit être mince; si elle étoit d'une certaine épaisseur, sa surface extérieure, qui touche immédiatement l'eau chaude, seroit agrandie avant l'intérieure, et la boule se casseroit. C'est ce qui arrive à tous les vases de verre épais que l'on chauffe trop brusquement, ainsi qu'à ceux que l'on ne chauffe que d'un seul côté, à moins que cela ne se fasse que lentement; auquel cas la matière de la chaleur a le temps de passer d'un côté à l'autre, et de se distribuer dans toute l'étendue du vase d'une manière assez uniforme. Les vases fragiles se casseroient de même, si, étant très-chauds, on ne les refroidissoit qu'en un seul endroit; car toutes les parties ne pouvant pas alors se prêter au même effet, il y auroit nécessairement rupture.

1137. EXPÉRIENCE. Les métaux, dont plusieurs ont beaucoup de durée et de ténacité, se raré-

fient tous, et augmentent de volume lorsqu'on les chauffe. Si l'on veut appercevoir cet effet, quelque petit qu'il soit, il faut faire les expériences suivantes, pour lesquelles on fera usage du *pyromètre* (*fig.* 150), instrument destiné à mesurer la raréfaction des corps par l'action de la chaleur. Il est composé, 1°. d'une lampe à l'esprit-de-vin D*d*, garnie de quatre petites mèches de coton, semblables entr'elles pour la grosseur et pour la longueur; 2°. de plusieurs leviers renfermés dans une boîte cylindrique de verre EF, et qui se correspondent de manière que, recevant le mouvement de la pièce G, ils le transmettent, par le moyen d'une portion de roue dentée ou râteau, et par un pignon, à une aiguille H*h* qui parcourt horizontalement un cercle divisé en 200 parties égales. Les bras de ces leviers et le rayon du râteau avec le pignon qu'il mène, sont tellement proportionnés, que la pièce G, avançant d'un quart de ligne (0,563957$^{\text{m.mt.}}$), fait faire à l'aiguille H*h* un tour entier; et comme la circonférence du cercle qu'elle parcourt est divisée en 200 degrés, dont chacun est assez grand pour être divisé en deux par le coup-d'œil d'un observateur un peu attentif, il est évident que la pièce G ne peut pas s'avancer de la seize centième partie d'une ligne (0,001410$^{\text{m.mt.}}$), qu'on ne s'en apperçoive par le mouvement de l'aiguille. Il faut avoir soin de se procurer des cylindres de différens métaux, tous égaux en longueur, et dont on rend les grosseurs égales en les faisant passer par la même filière. Chacun de ces cylindres doit être terminé d'un côté par une vis qui s'ajuste à la pièce G, tandis que l'autre bout est soutenu par le pilier I, dans lequel il est fixé par la vis de pression K. Si l'on

y place successivement les différens cylindres, et qu'on allume la lampe, tous s'alongent plus ou moins dès les premiers degrés de chaleur; ce que prouve la marche de l'aiguille H*h*; donc tous sont raréfiés par cette cause.

1138. Si l'on veut comparer les différens degrés de raréfaction des différens métaux, on les chauffera tous successivement pendant des temps égaux, et avec les mêmes mèches; et le nombre de degrés que l'aiguille parcourra pour chacun, déterminera le rapport de sa raréfaction avec celle des autres: on verra, par exemple (comme l'a prouvé *Berthoud*, fameux horloger), que celle du cuivre jaune est à celle de l'acier, comme 121 est à 74. On se sert avantageusement de cette différence pour corriger l'effet de la chaleur, sur les verges de pendules: on combine alors des verges de ces deux métaux, comme l'ont fait *Julien le Roi* à Paris, et *Ellicot* à Londres; et l'on fait en sorte que leurs longueurs soient en raison inverse de leurs alongemens (269). *Voyez* mon *Dictionnaire raisonné de Physique*, au mot PENDULE.

1139. Puisque les différens métaux s'alongent de quantités différentes par le même degré de chaleur (1138), il s'ensuit que, pour que les instrumens de mathématique, d'astronomie, etc., gardassent des rapports constans, il ne faudroit pas, comme on le fait souvent, les construire de métaux différens.

1140. Par la même raison, l'on voit pourquoi les accords se dérangent dans un clavessin, lorsque le lieu où il est placé change de température; cela vient de ce que ses cordes sont, les unes de fer, les autres

de laiton, deux métaux qui s'alongent de quantités différentes par le même degré de chaleur.

1141. Les liqueurs se raréfient de même que les solides, en s'échauffant : celles que nous employons dans nos thermomètres, nous en fournissent la preuve ; car la chaleur ne fait monter le thermomètre, que parce qu'elle fait augmenter le volume de la liqueur qui le compose. La cause de cet effet est toujours l'action de la matière de la chaleur, qui pénètre la masse, en désunit et en écarte les parties.

1142. La raréfaction des fluides est plus ou moins grande, plus ou moins prompte, suivant leurs différentes natures. Pour ce qui regarde l'étendue de cette raréfaction, il paroît que ce sont les fluides qui ont le moins de densité qui se raréfient le plus par le même degré de chaleur. Le gas hydrogène se raréfie plus que l'air; l'air, plus que l'esprit-de-vin; l'esprit-de-vin, plus que l'huile-de-lin; l'huile de lin, plus que l'eau; l'eau, plus que le mercure. Mais si l'on a égard au temps nécessaire à chaque fluide pour acquérir toute la raréfaction dont il est susceptible, cela ne suit aucune loi connue. Le mercure, quoique beaucoup plus dense que l'eau, y emploie beaucoup moins de temps : l'eau, plus dense que l'esprit-de-vin, y emploie plus de temps ; l'eau, plus dense que l'huile de lin, y emploie moins de temps; l'huile de lin, plus dense que l'esprit-de-vin, y emploie plus de temps. Cela dépend sans doute de différentes causes particulières qu'il seroit difficile de bien démêler. De plus, les quantités dont différens fluides se raréfient, ne gardent point entr'elles les mêmes rapports dans différens degrés de chaleur; par exemple, le rapport

de la raréfaction de l'esprit-de-vin, comparée à celle du mercure, est moindre dans les degrés inférieurs que dans les supérieurs : en partant du terme de la congélation, $5{,}0^{\text{deg.}}$ de raréfaction du mercure, ne répondent qu'à $5{,}9^{\text{deg.}}$ de raréfaction de l'esprit-de-vin, et près de la température de l'eau bouillante, $5{,}0^{\text{deg.}}$ du mercure répondent à $6{,}2^{\text{deg.}}$ de l'esprit-de-vin. C'est avec des fluides ou liqueurs que l'on construit les thermomètres ; et ce sont la raréfaction et la condensation de ces substances qui indiquent les différens degrés de chaleur. On peut voir la description de la plupart de ceux que l'on a imaginés, dans mon *Dictionnaire de Physique*, tome II, au mot THERMOMÈTRE.

1143. *Second effet.* Lorsque la raréfaction (premier effet) a été poussée jusqu'à son dernier période, les parties du corps conservant cependant encore de l'adhérence entr'elles, si la chaleur continue d'agir, le corps passe à l'état de liquéfaction ou de fluidité, plus ou moins complète, suivant la nature du corps que l'on chauffe, et suivant le degré d'activité du feu que l'on fait agir. C'est ce qui arrive à du beurre, de la cire, des métaux, etc. que l'on chauffe assez fortement ; ils passent de l'état de solide à celui de liquide : ou à des pierres que l'on calcine ; elles se réduisent en une poussière impalpable ; et de solides qu'elles étoient, elles deviennent fluides.

1144. Cet effet est plus ou moins prompt, suivant la nature du corps que l'on chauffe. Tous les corps ne fondent pas aussi promptement les uns que les autres, ni au même degré de chaleur : il en faut un plus grand pour faire fondre la cire que pour faire

fondra successivement et peu à peu : l'étain sera long-temps sans changer d'état apparent; mais lorsqu'il commencera à couler, fort peu de temps après il sera en fusion parfaite, et alors il restera encore un morceau de la cire dans l'état solide. De sorte que, quoique l'étain ne commence à fondre que long-temps après la cire, il est cependant entièrement fondu avant que la cire le soit. En un mot, les huiles grasses s'enflamment plus difficilement que l'esprit-de-vin; mais leur embrasement produit un degré de chaleur beaucoup plus considérable. La même charge de poudre qui s'enflamme en plein air, ne produit qu'un effort très-inférieur à celui qu'elle est capable de produire dans un canon.

1146. On rend les métaux fusibles plus aisément ou à un moindre degré de chaleur, en les alliant avec quelque autre substance. Les soudures fortes sont des alliages de cette nature, qui fondent à un degré de chaleur moindre que celui qui seroit nécessaire pour faire fondre les pièces qu'on veut réunir. Le cuivre jaune, qui est un alliage de cuivre rouge et de zinc, sert de soudure pour le cuivre rouge : l'argent allié avec le cuivre rouge, sert de soudure pour l'argent, et ainsi des autres. La fonte de fer et l'acier, qui sont du fer allié avec une substance charbonneuse (870), fondent à un degré de chaleur moindre que ne le fait le fer doux.

1147. *Troisième effet.* Une matière liquéfiée par l'action de la chaleur (second effet), continue de s'échauffer jusqu'au moment où elle bout, si elle est de nature à bouillir; après quoi elle ne s'échauffe plus, quelque long-temps qu'on la fasse bouillir : mais sa masse finit par se convertir en vapeurs, d'autant

plus aisément qu'elle est moins chargée du poids de l'air; de l'eau, dans le vide, se vaporise à un très-petit degré de chaleur.

1148. L'ébullition des liqueurs consiste dans le soulèvement d'une portion de la liqueur, occasionné par de grosses bulles d'un fluide très-transparent, qui se succèdent rapidement, en traversant la liqueur depuis l'endroit exposé au feu jusqu'à sa surface; car ces bulles ne partent jamais que de cet endroit-là. Qu'est-ce que c'est que ce fluide? Est-ce la matière de la chaleur? Il est bien certain que les liqueurs ne bouillent point sans chaleur: mais il est certain aussi que la matière de la chaleur seule ne suffit pas pour les faire bouillir, puisque plusieurs substances ne bouillent jamais, quelque fortement qu'on les chauffe. Il faut donc que ces bulles soient composées d'un autre fluide. Cet autre fluide est certainement une portion de la liqueur réduite en vapeurs, par la grande chaleur qu'elle éprouve: de même qu'une goutte d'eau, jetée sur un fer chaud, s'évapore promptement, en formant plusieurs bouillons, qui, s'ils étoient couverts d'eau chaude, au lieu de crever, s'enfonceroient dans la liqueur, et la soulèveroient. La preuve que ce fluide est une portion de la liqueur elle-même réduite en vapeurs, c'est que les métaux fondus ne bouillent jamais, parce qu'ils ne s'évaporent qu'à leur surface, et que ces vapeurs, qui tendent toujours à s'élever, ne peuvent pas traverser la masse. Qu'on ne dise pas que c'est leur pesanteur qui s'oppose à leur soulèvement; car le mercure, qui est plus pesant que tous les métaux, excepté l'or et le platine, bout comme de l'eau, parce qu'il se réduit en vapeurs en dessous et à l'endroit exposé au feu. Mais ces mêmes métaux,

metaux, qui seuls ne peuvent bouillir, bouillent très-fortement, si l'on y enfonce quelque substance capable de fournir des vapeurs, comme, par exemple, un morceau de bois. L'ébullition n'est donc pas seulement l'effet de la chaleur, mais encore celui d'une vapeur qui traverse et soulève la liqueur. Ainsi l'action de la matière de la chaleur réduit en vapeur une portion de la liqueur, et cette vapeur, en soulevant la liqueur, cause l'ébullition.

Toutes les liqueurs ne bouillent pas au même degré de chaleur; l'esprit-de-vin bout
à . . . . . 66,6 degrés du thermomètre ordinaire,
ou à . . . . 181,85 deg. du thermomèt. de Farenheit;
l'eau à . . . 80 degrés du thermomètre ordinaire,
ou à . . . . 212 deg. du thermomèt. de Farenheit;
le mercure à 252,44 degrés du thermomètre ordinaire,
ou à . . . . 600 deg. du thermomèt. de Farenheit.

1149. Nous venons de dire (1147) que les liqueurs ne s'échauffent plus, lorsqu'elles sont parvenues au terme de l'ébullition. En voici la raison : c'est qu'alors la masse est assez raréfiée pour permettre à la matière de la chaleur d'en sortir aussi librement qu'elle y entre : de sorte que sa quantité ne peut plus augmenter. L'ébullition est donc le dernier terme de la liquidité, puisqu'alors le feu ne divise pas davantage la liqueur. Il y a aussi ébullition toutes les fois qu'il se forme des vapeurs intestines, comme dans les liqueurs fermentantes. Le beurre et les graisses bouillent promptement et avec bruit, s'il s'y trouve quelques parties aqueuses, qui, s'y réduisant en vapeurs à un moindre degré de chaleur que ces matières grasses, les chassent devant elles, au grand danger des assistans.

1150. Puisque l'ébullition est causée par une portion de la liqueur réduite en vapeurs (1148), qui, en traversant la masse, se dissipent et passent dans l'air; si l'on continue de faire bouillir cette liqueur, toutes ses parties s'évaporeront successivement, et jusqu'à siccité. C'est là ce qui forme ces fluides élastiques non permanens, dont nous avons parlé ci-devant (589).

1151. Mais si la dissipation d'une substance est subite, si toutes ses parties s'évaporent à la fois, elle fait une explosion violente, parce qu'en passant à l'état de fluide élastique, elle acquiert un volume prodigieux, en comparaison de celui qu'elle avoit auparavant (1066). C'est ce qui arrive dans l'inflammation de la poudre à canon, ainsi que dans la fulmination de la poudre fulminante, de l'or et de l'argent fulminans. Si l'on fait ces expériences de fulmination, il faut se tenir à l'écart, et prendre toutes les précautions nécessaires pour n'être pas blessé, sur-tout si l'on fait usage de l'argent fulminant, découvert tout récemment par *Bertholet*, de l'Académie des Sciences, et auquel toutes les autres substances fulminantes ne peuvent pas être comparées. Il faut le contact d'un corps embrâsé pour faire fulminer la poudre à canon: il faut faire prendre à l'or fulminant un degré de chaleur sensible pour qu'il fulmine, tandis que le contact d'un corps quelconque, même froid, et quelque petit qu'il soit, suffit pour faire détonner l'argent fulminant. Enfin ce produit, une fois obtenu, ne peut plus être touché sans fulminer; c'est un être vraiment *intactile*.

1152. Par ce que nous venons de dire (1133 *et*

suiv.), il est aisé de voir que les effets du feu sur les corps, que nous avons mis au nombre de trois, peuvent se réduire à un seul, savoir, à les raréfier; car la liquéfaction ou la fluidité n'est qu'une raréfaction plus grande que celle qui résulte d'un degré de chaleur insuffisant pour rompre l'adhérence des parties; et la vaporisation n'est qu'une raréfaction poussée jusqu'à son degré extrême.

Des moyens d'augmenter ou de diminuer l'action du Feu.

1153. Il y a quatre moyens par lesquels on peut augmenter l'action ou les effets d'un même feu, d'un feu entretenu avec la même matière. Ces moyens sont, 1°. d'augmenter la quantité de matière qui lui sert d'aliment; 2°. de concentrer cette action ou d'empêcher qu'elle ne s'étende et ne se dissipe dans un trop grand espace; 3°. de diriger cette action vers un même endroit; 4°. de souffler ce feu avec de l'air pur.

1154. *Premier moyen.* Ce premier moyen est si usité, qu'il n a pas besoin de preuve. Tout le monde sait qu'en ajoutant du bois ou du charbon à un feu déjà allumé, son action augmente. Il faut cependant que la quantité de matière ajoutée trouve un feu proportionné à son degré d'inflammabilité et à son volume. Du bois vert, ou en grosse bûche, ajouté à un petit feu, n'y fera que noircir, mais si ce bois est bien sec et divisé en petites parties ou en copeaux, il s'y embrasera. Un corps ne peut s'embraser qu'en se combinant avec l'oxigène (1111); et cette combinaison ne peut avoir lieu qu'au moyen d'un certain degré de chaleur : si le feu est petit, et que le corps soit d'un

gros volume ou trop abreuvé d'eau, le feu est éteint avant que le corps ait eu le temps de s'échauffer assez. Par la même raison, une bougie allumée, que l'on renverse, s'éteint, par la cire fondue qui coule sur la mèche, et qui n'avoit pas encore acquis le degré de chaleur nécessaire à son embrasement.

1155. *Second moyen.* Ce moyen est de concentrer l'action du feu, ou de l'empêcher de s'étendre et de se dissiper dans un trop grand espace. C'est ce que font les chymistes, par le moyen de leurs fourneaux. Le feu, ainsi renfermé, devient comme le centre d'une sphère d'activité, dont les rayons vont frapper les parois du fourneau : mais ces rayons sont réfléchis vers le milieu, et leur action s'y trouvant comme concentrée, en agit avec d'autant plus de force.

1156. Les étuves peuvent être regardées comme des espèces de fourneaux, dans lesquels la chaleur s'applique à un grand nombre de corps à la fois. C'est dans des étuves de cette espèce que les ouvriers font sécher leurs vernis gras.

1157. Un paravent déployé devant une cheminée, fait aussi, en quelque façon, l'office de fourneau; car non-seulement il garantit de l'air froid qui peut venir des portes et des fenêtres, mais il réfléchit encore les rayons de chaleur, et les empêche de trop s'étendre et de se dissiper.

1158. *Troisième moyen.* Ce troisième moyen consiste à diriger vers un même endroit l'action du feu ou les parties déjà embrasées qui s'exhalent. C'est ce que font les orfèvres, les bijoutiers, les metteurs en œuvre, les émailleurs, etc. avec leur lampe et leur chalumeau, ou leur soufflet. Cette flamme, ainsi di-

rigée, devient active au point de fondre le verre, l'émail et les métaux; car le souffle introduit dans la flamme le fluide propre à la combustion. Par ce moyen on obtient deux avantages; l'un, d'exciter un grand degré de chaleur; et l'autre, de ne chauffer que l'endroit que l'on veut qui le soit.

1159. *Quatrième moyen.* Ce moyen est de souffler le feu avec de l'air pur. On ne connoit point de feu aussi actif que celui-là. *Lavoisier*, qui a fait là-dessus de belles suites d'expériences (Voyez *Mémoires de l'Académie*, année 1782, *page* 476 *et suiv.* année 1783, *page* 566 *et suiv.*), n'a presque point trouvé de substances qui ne cédassent à l'action de ce feu violent. Le platine, par l'action du verre ardent (qui produit plus de chaleur qu'aucun fourneau des chymistes), ne fait tout au plus que se ramollir un peu; mais chauffé par un feu soufflé avec de l'air pur, il fond complètement. Les rubis orientaux, qui ne souffrent aucune altération à la chaleur du verre ardent, exposés à l'action du feu soufflé avec de l'air pur, se ramollissent au point de se souder plusieurs ensemble : cependant ils conservent leur couleur, quoique moins parfaite; et ils ne perdent rien, ou presque rien de leur poids.

1160. Nous venons de voir (1153 *et suiv.*) quels sont les moyens d'augmenter l'action du feu. Si l'on veut la diminuer, il suffit de supprimer les moyens par lesquels on l'augmente. Cette suppression est la cause la plus ordinaire du ralentissement ou même de l'extinction du feu. Celui d'un poële ou d'une cheminée donne moins de chaleur, s'il manque de bois; souvent même, quoique le bois n'y manque pas, il languit si on néglige de le souffler.

1161. Mais cette exinction du feu ne se fait que lentement : il y a des circonstances où il est intéressant d'aller plus vîte. On sait que rien ne brûle sans le contact de l'air (664) : il suffit donc, pour produire la privation d'air nécessaire, d'appliquer à la surface du corps embrasé une matière qui ne soit pas combustible, comme, par exemple, de l'eau. C'est le moyen que l'on emploie ordinairement pour faire cesser les incendies. Mais il faut, pour cela, que l'eau puisse demeurer en liqueur plus long-temps que ne peut durer l'embrasement ; c'est pourquoi il en faut jeter beaucoup : car si l'on ne jette qu'une petite quantité d'eau sur un grand feu, cette eau, éprouvant un degré de chaleur plus violent que celui qu'elle peut soutenir en plein air, se décompose : son oxigène (817) se combine avec le corps qui brûle; et son hydrogène, se combinant avec le calorique, forme un gas inflammable qui s'embrase sur-le-champ, et ajoute beaucoup à l'activité de la flamme.

Du refroidissement.

1162. Nous avons fait voir (1154) que l'*inflammation* augmente lorsque le corps embrasé se trouve uni à une quantité proportionnée de matière capable de s'embraser aussi ; parce qu'alors il se dégage de plus en plus du calorique combiné, et qui devient libre (1128 et 1129). La *chaleur* au contraire ne se communique point sans s'affoiblir (1127); parce que, dans ce cas-là, il n'y a point de nouveau calorique dégagé; et celui qui étoit déjà libre, ne fait que s'étendre dans un plus grand espace, et par-là devient plus rare dans le corps qui communique la chaleur.

Cette diminution de calorique dans ce corps se nomme *refroidissement*.

1163. De même que les corps s'échauffent plus promptement les uns que les autres (1142), de même ils ne se refroidissent pas également dans un temps donné; et l'on ne connoît pas bien la loi suivant laquelle cela s'exécute. On peut cependant dire, en général, que *la chaleur se communique en raison des masses*. C'est pourquoi on ressent plus de froid aux mains, quand on touche du marbre ou du métal pendant l'hiver, que quand on touche du bois ou des étoffes, qui sont moins denses, quoique la température de tous ces corps soit la même; car le refroidissement de la main est la perte qu'elle fait d'une partie de son calorique, en la communiquant au corps qu'elle touche : et cette communication est proportionnelle, ou à-peu-près, à la densité du corps touché.

1164. Mais lorsque les matières qui se touchent ou se mêlent sont de même nature, *l'excès de chaleur de la plus chaude se communique à la moins chaude en raison des volumes*. Si l'on mêle ensemble deux litres d'eau, dont la température de l'une soit de 20 degrés, et celle de l'autre de 50, la température du mélange sera de 35 degrés; savoir, 20 degrés de chaleur commune, plus 15 degrés moitié de 30, excès de 50 sur 20. Si avec un litre d'eau échauffé à 40 degrés, on en mêle deux litres à 10 degrés, la chaleur du mélange sera de 20 degrés; car les 30 degrés, excès de 40 sur 10, seront partagés entre les trois litres qui ont chacun 10 degrés de chaleur commune. On trouvera encore quelle doit être la température du mélange, en additionnant ensemble tous les degrés de chaleur, et en divisant le produit par le

nombre des volumes : le quotient de la division indiquera la température que l'on cherche. $40 + 10 + 10 = 60$, qui, divisés par 3, donnent 20. De même, dans le premier exemple, $20 + 50 = 70$, qui, divisés par 2, donnent 35.

1165. Les corps chauds communiquent une portion de leur calorique à ceux qui sont moins chauds et qu'ils touchent (1162); on voit pourquoi la glace se fond en refroidissant les bouteilles. Mais ce refroidissement est beaucoup plus considérable que ne le donnent les règles établies ci-dessus (1163 et 1164); parce que, dans ce cas-là, il y a une grande quantité de calorique combiné avec la glace, pour la faire passer à l'état de liqueur (1098); et le calorique combiné n'excite aucun degré de chaleur sensible (588): par conséquent il n'échauffe point l'eau provenue de la glace, quoique la perte qu'en font les bouteilles, les refroidisse. Il y a donc alors de la chaleur de perdue (1108).

1166. L'air froid qui touche des corps plus chauds que lui, reçoit donc une portion de leur calorique; et, par-là, diminue d'autant plus leur chaleur, qu'il se renouvelle plus souvent. C'est pourquoi nous ressentons plus de froid, lorsque nous sommes exposés au vent, que lorsque nous sommes à l'abri.

1167. Le refroidissement n'étant autre chose qu'une diminution de chaleur, on doit voir cesser, dans un corps qui se refroidit, tous les effets du feu dont nous avons parlé (1135). 1°. Ce qui étoit flamme, ne devient plus que fumée épaisse; l'évaporation se ralentit, ou même cesse entièrement; 2°. les matières liquéfiées deviennent moins coulantes et reprennent

ensuite leur première consistance ; 3°. le volume, augmenté par la raréfaction, se restreint dans des limites plus étroites.

1168. Quand tout cela se fait lentement, les parties se rapprochent proportionnellement et dans leur ordre naturel : la masse reprend son premier état, et redevient telle qu'elle étoit avant qu'elle éprouvât l'action du feu ; sur-tout si cette action ne lui a enlevé aucun de ses principes. C'est ce qui arrive à de l'or que l'on a fondu, et qu'on laisse ensuite refroidir : il redevient le même qu'il étoit avant sa fusion, et conserve toute sa densité.

1169. Mais un refroidissement trop prompt a quelquefois des effets très-différens : il diminue si promptement la mobilité respective des parties, qu'il les fixe avant qu'elles aient pu s'arranger dans l'ordre qui leur convient ; ces parties ne se touchent qu'imparfaitement ; le corps ne prend qu'une consistance incomplète. C'est ce qui arrive à de l'acier que l'on trempe : aussi est-il alors plus cassant ; et sa densité est moindre qu'elle n'étoit avant la trempe (57). La même chose arrive à des vases de verre qui n'ont pas partout un épaisseur égale, et qu'on a laissé refroidir trop subitement. Leurs parties n'adhèrent que foiblement entr'elles : et l'on ne doit pas être étonné de voir que ces vases se cassent souvent d'eux-mêmes, et sans avoir reçu aucun choc. Pour prévenir cet inconvénient, après les avoir fabriqués, on leur donne le *recuit*, c'est-à-dire, qu'on les met dans un fourneau échauffé jusqu'à un certain point, et qu'on les y laisse refroidir très-lentement. On modère de même par le recuit (57), la propriété trop cassante de l'acier.

1170. Nous ne connoissons point de corps absolument froid : un tel corps seroit celui qui ne contiendroit point du tout de calorique dans l'état de liberté ; or, on n'en a jamais trouvé de cette espèce. On ne connoît point le zéro de chaleur. Le froid n'est donc qu'une moindre chaleur ; il n'est, par conséquent, pas une qualité positive, mais seulement relative. Tel corps est froid à l'égard de celui-ci, qui paroît chaud par rapport à celui-là. La glace, dans laquelle on plonge un thermomètre, le fait descendre, s'il sort d'un air tempéré ; elle le feroit monter, s'il sortoit d'un mélange de sel et de glace (1694). Nous trouvons les caves chaudes en hiver, et froides en été, quoique leur température soit à-peu-près la même en toutes les saisons : cela vient de ce que, quand nous descendons dans ces souterreins, en hiver, nous sortons d'un air froid ; et en été, nous sortons d'un air chaud. Il est même possible que la même personne trouve la même substance chaude et froide dans le même instant. Pour vous en convaincre, ayez soin de tenir une de vos mains bien froide et l'autre bien chaude : faites tirer un seau d'eau de puits ; plongez-y vos deux mains. Avec la main qui sera froide, vous trouverez cette eau chaude ; avec la chaude, vous la trouverez froide.

1171. *Tout corps de dessus léquel un fluide s'évapore, se refroidit, et d'autant plus que l'évaporation de ce fluide est plus prompte.*

Expérience. Remplissez d'eau une boule mince de thermomètre, ainsi qu'une partie de son tube ; plongez cette boule dans l'eau ; retirez-la de l'eau, et l'agitez dans l'air : l'évaporation aura lieu ; l'eau baissera dans le tube, en se refroidissant : et en re-

commençant plusieurs fois de suite la même opération, vous parviendrez, avec un peu de patience, à faire geler l'eau de la boule : donc *l'évaporation refroidit les corps*. Si, au lieu de plonger cette boule dans l'eau, vous la plongez dans l'esprit-de-vin, ou, mieux encore, dans l'éther, l'évaporation étant plus prompte, le refroidissement sera plus grand; et l'eau sera plus promptement gelée : donc, etc.

1172. La raison de ce refroidissement est qu'une substance ne peut passer à l'état de vapeurs, sans se combiner avec une assez grande quantité de calorique (1062) : une portion de ce calorique est, par-là, enlevée au corps de dessus lequel la substance s'évapore; et sa disette occasionne le refroidissement. Voilà pourquoi, jusqu'à ce qu'on se soit bien essuyé, on sent du froid en sortant du bain, quand bien même l'air, dans lequel on passe, seroit plus chaud que le bain. Les chasseurs et les militaires savent profiter de ce moyen de refroidissement, pour boire frais au milieu des champs ou dans le camp. Pour cela, ils enveloppent leurs bouteilles de linges mouillés, et les exposent au soleil, pour rendre l'évaporation plus prompte. On fait bien d'en user ainsi; car il est très-agreable et même très-sain de boire frais.

CHAPITRE XIV.

De la nature et des propriétés de la Lumière.

1173. La lumière est un fluide qui, lorsqu'il agit sur nos yeux, nous fait passer subitement des ténèbres à la clarté; qui nous fait, pour ainsi dire, sortir hors de nous-mêmes, pour aller au-devant des objets; qui fait que nous pouvons les juger de loin; qui donne la couleur et l'éclat à toutes les productions de la nature et de l'art.

1174. Ce fluide réside, comme intermède, entre le corps visible et l'organe qui l'apperçoit : il occupe, par lui-même et par son action, l'intervalle qui les sépare; car un corps ne peut agir sur un autre corps qu'en le touchant immédiatement, ou par le moyen d'une matière interposée. Ce qui rend les objets visibles est donc une matière. Mais quelle est cette matière ?

1175. La lumière est capable d'embraser les corps combustibles (1120 et 1121), le feu nous éclaire : il est donc raisonnable de penser qu'un seul et même fluide produit ces deux effets. Aussi avons-nous dit (1099) que le principe du feu et celui de la lumière sont une seule et même substance, mais différemment modifiée. C'est le sentiment du docteur *s'Gravesande*; et il fait consister la différence de la lumière et de la chaleur, en ce que, pour produire la lumière, il faut que les particules de ce fluide se meuvent en ligne droite; et pour produire la chaleur, il faut qu'elles

aient un mouvement irrégulier. On en a la preuve par les rayons qui viennent immédiatement du soleil, et qui, quoique réunis en très-grand nombre dans un très-petit espace, par le moyen d'un verre ardent, ne produisent aucune chaleur sensible (1125); tandis que, si on les fait tomber sur quelque corps qui les réfléchisse en toutes sortes de sens, il s'excite un degré de chaleur très-vif.

1176. Mais, dira-t-on, si cela étoit, il ne devroit point y avoir de lumière sans chaleur, ni de chaleur sans lumière. Nos sens ne sont pas suffisans pour décider cette question; car la lumière est un fluide qui peut être infiniment rare, et foible au point que nos yeux ne l'apperçoivent pas : et la chaleur est susceptible d'une infinité de degrés, que nous ne pouvons pas mesurer; car il n'y a point de chaleur qui soit sensible pour nous, si elle n'a en même temps plus d'intensité que celle des organes de nos sens; et les corps ne manquent pas de chaleur absolue, quoiqu'ils nous paroissent froids, car nous ne connoissons pas le zéro de chaleur. Partout où il y a de la chaleur, il peut donc y avoir de la lumière, sans que nous l'appercevions; et partout où il y a de la lumière, il peut y avoir de la chaleur sans que nous la sentions.

1177. Après avoir déterminé la nature de la lumière, examinons maintenant, 1°. dans quel lieu elle réside, et comment elle se répand, de sa source, dans l'espace qu'elle éclaire; en un mot, comment son action se propage : 2°. quelles sont les directions qu'elle affecte de suivre dans ses différens mouvemens : 3°. quels sont les obstacles qui peuvent la faire changer de direction, et quelles sont les routes qu'elle prend

quand elle en change : 4°. d'où résultent les couleurs qu'elle nous fait sentir : 5°. quels sont ses effets relativement à l'organe de la vue, et relativement aux instrumens d'optique.

De la propagation de la Lumière.

1178. La manière dont la lumière se propage, est un mystère qui ne nous est pas encore dévoilé. Suivant *Descartes* et *Huyghens*, la propagation de la lumière se fait par *pression*; et, suivant *Newton*, elle se fait par *émission*.

1179. Les premiers supposent donc que la matière de la lumière est un fluide immense, dont les parties très-petites, parfaitement dures et en forme de globules, remplissent sans interruption toute la sphère de l'univers. Tous les corps lumineux par eux-mêmes, tels que le soleil, les étoiles, et tous les corps qui s'enflamment, animent cette matière, non en la transportant d'un lieu dans un autre, mais seulement d'un mouvement de vibration, à-peu-près semblable à celui qui produit le son. En conséquence, ils ont soutenu que l'action de la lumière se transmet au plus grand éloignement dans un instant indivisible.

1180. Les Newtoniens prétendent que la lumière est une émanation réelle des corps lumineux : que, par conséquent, le soleil, les étoiles, un flambeau allumé, etc. lancent continuellement autour d'eux des rayons de leur propre substance. Selon eux, ces rayons sont composés de parties qui se succèdent et se renouvellent perpétuellement dans le même lieu, et avec toute la vîtessse de la propagation de la lumière; de sorte que les parties qui nous éclairent

dans ce moment, ne sont pas celles qui nous éclairoient l'instant d'auparavant, ni celles qui nous éclaireront dans l'instant suivant. Il faut donc que cette matière coule avec une rapidité dont rien n'approche; et que ces parties se dilatent et s'étendent au point d'occuper des espaces immenses, eu égard au petit espace qui les contenoit, et au peu de temps qu'elles mettent à se répandre: car, suivant l'observation faite par *Dominique Cassini* en 1675, du retardement des émersions des satellites de Jupiter, la lumière n'emploïe qu'environ huit minutes à parvenir du soleil à nous : elle doit donc parcourir plus de 72400 lieues par seconde de temps; vîtesse inconcevable, et à laquelle l'imagination même ne se prête pas. En effet, lorsque la terre approche de Jupiter, les émersions des satellites de cette planète nous paroissent commencer plutôt; au lieu que lorsque la terre s'éloigne de Jupiter, leurs émersions arrivent de plus en plus tard, s'éloignant beaucoup, dans les deux cas, du temps marqué par les Tables; ce qui provient, selon toute apparence, de ce que la lumière solaire, que les satellites nous réfléchissent, a, dans un cas, plus de chemin à faire que dans l'autre, pour parvenir du satellite à nos yeux, et ce plus grand chemin est le diamètre de l'orbe annuel de la terre.

1181. La propagation de la lumière n'est donc point instantanée, comme l'a prétendu *Descartes*. A cet égard, son sentiment est insoutenable. Mais, si l'on convient, comme on doit le faire, que les globules de lumière ne sont pas parfaitement durs, mais qu'ils sont flexibles et élastiques, ce qui est essentiel pour qu'ils puissent être réfléchis; et de plus, qu'ils n'ont pas une contiguité parfaite, ce qui est plus que

probable, cela suffira pour causer ce retardement qu'on observe dans la propagation de la lumière (1180). Il est vrai qu'on objecte encore à *Descartes* qu'il n'y auroit point d'obscurité, parce qu'un mouvement de pression se communique en tous sens ; mais on peut répondre qu'en effet il n'y en a jamais de parfaite : car, dans la nuit la plus obscure, quelqu'un qui est depuis quelque temps dehors, voit assez pour se conduire, et apperçoit très-bien les obstacles qui s'opposent à son passage. Le système de *Descartes* corrigé pourroit donc bien valoir celui de *Newton*, d'autant plus que ce dernier exige, comme nous venons de le voir (1180), dans le mouvement de la lumière, une vîtesse inconcevable. D'ailleurs il n'est pas facile d'expliquer, par ce dernier système, pourquoi la lumière cesse subitement dès que le corps lumineux disparoît, puisqu'un moment après que ce corps a disparu, les corpuscules qu'il a lancés existent encore autour de nous, et doivent conserver une bonne partie du mouvement prodigieux qu'ils ont reçu de la part du corps lumineux.

1182. Il faut donc avouer que ces deux opinions de *Descartes* et de *Newton*, ne sont démontrées ni l'une ni l'autre ; et la plus sage réponse à la question de *la propagation de la lumière*, seroit peut-être de dire que nous n'en savons rien. Au reste, soit qu'on pense avec *Descartes* que la propagation de la lumière se fait par pression, soit qu'on croie avec *Newton* qu'elle se fait par émission, il en résulte les mêmes phénomènes : ainsi chacun pourra choisir celui des deux sentimens qui lui plaira le plus. Nous ne devons cependant pas dissimuler une chose qui milite en faveur de l'opinion de *Descartes*. Il est reconnu par tous

tous les physiciens, que *nous ne pouvons rien voir que par le moyen de la lumière :* cependant tous les corps qui deviennent phosphoriques (et ils sont en très-grand nombre) ne sont pas réputés *corps lumineux*, et sont pourtant capables de nous éclairer : il existe donc d'autre lumière que celle qui émane des corps lumineux.

Des directions que suit la Lumière dans ses différens mouvemens.

1183. Les mouvemens de la lumière ressemblent à ceux des autres corps : elle suit, tant qu'elle peut, la première impulsion reçue : elle s'étend en ligne droite, tant qu'elle ne rencontre pas d'obstacle, ni de nouveau milieu qui en change la direction. Ces lignes droites, suivant lesquelles elle ou son action se propage, sont ce qu'on nomme ses rayons. Ce principe est le fondement de l'*optique.*

1184. A la rencontre d'un corps opaque, la lumière se réfléchit, de manière que son angle de réflexion est égal à celui de son incidence. Ce principe est le fondement de la *catoptrique.*

1185. Lorsque la lumière passe d'un milieu dans un autre, d'une résistance différente, ses rayons se réfractent de manière que le sinus d'incidence est au sinus de réfraction en raison constante. Ce principe est le fondement de la *dioptrique.*

1186. L'optique a donc pour objet la lumière directe ; la catoptrique a pour objet la lumière réfléchie ; et la dioptrique a pour objet la lumière réfractée.

Des principes de l'Optique.

1187. L'optique, dans le sens le plus strict, est proprement la science qui a pour objet les effets de la lumière directe, et par conséquent la science de la vision directe, c'est-à-dire, de la vision des objets par des rayons qui viennent directement et immédiatement de ces objets à nos yeux, sans être ni réfléchis ni réfractés par quelque autre corps réfléchissant ou réfringent.

1188. Chaque point visible d'un objet pouvant être apperçu de tous côtés, on doit le concevoir comme le centre commun d'une infinité de rayons de lumière transmis ou réfléchis C (*fig.* 151); c'est pourquoi on le nomme *point radieux.* Si un œil se trouve placé devant ce point visible A (*fig.* 152), il reçoit un certain nombre de ces rayons, qui, partant tous d'un point commun A, forment une pyramide dont la base B est appuyée sur l'œil, et la pointe ou le sommet A est à l'objet visible. Ces rayons arrivent donc divergens à l'œil; et cette divergence se mesure par l'angle GCF ou ECD (*fig.* 153) qu'ils forment entr'eux. Cet angle est d'autant plus ouvert, que l'objet est plus près de l'œil; *et vice versâ.*

1189. Si l'objet est d'une grandeur sensible, il se trouve plusieurs points visibles A, B, C, etc. (*fig.* 154) tournés vers l'œil, lequel étant placé dans un endroit quelconque D, E, F, G, H, etc. puisqu'il y a des rayons lancés en tous sens (1188) (*fig.* 151), reçoit de chacun de ces points une pyramide composée de rayons divergens, lesquelles pyramides convergent à l'œil; et leur degré de convergence, qui détermine la grandeur apparente de l'objet, se mesure par

l'angle HIH ou HKH (*fig.* 155) qu'elles forment entr'elles. Cet angle est aussi d'autant plus ouvert, que l'objet est plus près de l'œil, et en conséquence l'objet paroît d'autant plus grand; et, au contraire, il paroît d'autant plus petit, qu'il en est plus éloigné.

1190. Nous voyons donc les objets par deux sortes de rayons : nous voyons chaque point d'un objet par une pyramide de rayons divergens (1188), et nous voyons l'objet entier par la convergence à notre œil de toutes ces pyramides qui partent de chaque point (1189).

1191. C'est par le moyen de ces pyramides que nous jugeons de la direction dans laquelle se trouve l'objet visible, ainsi que de sa distance. La direction est toujours dans la longueur de l'axe PQ (*fig.* 156) de la pyramide; et nous rapportons la distance à l'endroit R de l'axe où les rayons se croissent.

1192. De ce que nous venons de dire, il suit, 1°. qu'un plan placé vis-à-vis d'un point radieux ou visible, devient la base d'une pyramide de lumière (1188).

1193. Et comme les rayons qui forment cette pyramide sont divergens, sa base va toujours en s'élargissant, à mesure que le plan s'éloigne du point visible. En conséquence, ce plan est de moins en moins éclairé; car, à deux distances, le diamètre de la base de la pyramide est double de ce qu'il est à une distance, et son aire est quadruple. Donc, sur un espace donné, les rayons y sont quatre fois aussi rares. Donc *la lumière qui vient directement du*

1198. Si la sphère du corps lumineux est plus grande que celle du corps opaque qui occasionne l'ombre, *cette ombre a la forme d'un cône*, dont la base est appuyée sur le corps opaque, et la pointe ou le sommet est à l'extrémité de l'ombre, car alors les rayons qui terminent l'ombre du corps opaque, sont convergens entr'eux, et tendent à se réunir en un point commun. Telle est l'ombre de la terre éclairée par le soleil. Supposons, par exemple, que le globe G (*fig.* 157) représente le soleil, et le globe K la terre; il est évident que les rayons extrêmes B I, A N, partis du soleil pour se rendre à la terre, iront, en passant à côté de la surface du globe terrestre, se réunir au point H, ce qui formera une ombre de figure conique. Donc, etc.

1199. Quand la sphère du corps lumineux est plus petite que celle du corps opaque, l'*ombre a la figure du cône tronqué*; car alors l'ombre est terminée par des rayons divergens entr'eux, qui, par conséquent, vont toujours en s'écartant les uns des autres. Telle est l'ombre de la terre éclairée par la lune. Si nous supposons que le globe L (*fig.* 158) représente la lune qui éclaire le globe de la terre, l'ombre de celle-ci sera terminée par les rayons DF, EG, divergens entr'eux. Cette ombre sera donc comprise dans l'espace A F G B, lequel espace a la forme d'un cône tronqué. Donc, etc.

1200. Si la sphère du corps lumineux et celle du corps opaque sont de la même grandeur, *l'ombre est cylindrique*, et s'étend, pour ainsi dire, à l'infini; car le globe lumineux C (*fig.* 159) éclairant le globe opaque F, l'ombre du gobe opaque est alors terminée

P 3

par les rayons parallèles AS, BT, qui ne peuvent jamais ni se réunir ensemble, ni s'écarter les uns des autres. Cette ombre sera donc comprise dans l'espace DSTE, lequel espace a la forme d'un cylindre, dont la longueur est, pour ainsi dire, infinie. Donc, etc. C'est pour cette raison que l'ombre des corps terrestres s'étend si loin au lever et au coucher du soleil; car les rayons qui viennent de cet astre, étant presque parallèles à l'horizon, se réunissent beaucoup plus tard. (Voyez le *Thaumaturgus opticus* du P. *Niceron*, et le *Supplément de cet ouvrage.*)

1201. Tout corps opaque jette donc une ombre dans la même direction que celle des rayons de lumière, c'est-à-dire, vers la partie opposée à la lumière. C'est pourquoi, à mesure que le corps lumineux ou le corps opaque change de place, l'ombre en change également. Nous verrons l'application de ce principe, en parlant des éclipses de soleil (2020 *et suiv.*)

1202. Tous corps opaque jette autant d'ombres différentes qu'il y a de corps lumineux qui l'éclairent.

1203. Plus est grande l'intensité de la lumière du corps lumineux, plus l'ombre est épaisse ou obscure: ainsi l'épaisseur de l'ombre se mesure par les degrés de lumière dont cet espace est privé. Ce n'est pas que l'ombre, qui est une privation de lumière, soit plus forte pour un corps que pour un autre; mais c'est que plus les environs de l'ombre sont éclairés, plus on la juge épaisse par comparaison.

1204. On distingue deux sortes d'ombres, l'ombre droite et l'ombre renversée. L'ombre droite est celle que jette un corps sur un plan horizontal, auquel il

est perpendiculaire. Soit E B (*fig.* 160) le plan horizontal, G F le corps perpendiculaire sur le plan, et D B le rayon du soleil qui touche la pointe G du corps; F B est l'ombre droite de ce corps. *L'ombre droite* F B *est au corps* G F *qui la produit, comme le co-sinus* D H *de la hauteur de la lumière est au sinus* D E *de cette même hauteur*. D'où il suit que si ce sinus et le co-sinus sont égaux, ce qui arrive lorsque le soleil est élevé de 45 degrés sur l'horizon, l'ombre droite du corps est égale au corps même. Elle est plus grande, si le sinus de la hauteur de la lumière est plus petite que le co-sinus de cette même hauteur, ce qui arrive lorsque le soleil est élevé de moins de 45 degrés sur l'horizon; et elle est plus petite quand le sinus est plus grand que le co-sinus, ce qui arrive lorsque le soleil est élevé de plus de 45 degrés sur l'horizon. C'est par cette raison que les ombres, à midi, sont plus courtes en été qu'en hiver.

1205. L'ombre renversée est celle que jette un corps sur un plan vertical. Par exemple, soit A B (*fig.* 161) un plan vertical, E C un corps perpendiculaire à ce plan, et S E un rayon du soleil qui touche la pointe E de ce corps: C T est l'ombre renversée du corps E C. Telle est l'ombre d'un bras tendu projetée sur le corps d'un homme, celle d'une barre de fer fixée perpendiculairement dans un mur, etc. De même que l'ombre droite est, comme on vient de le voir (1204), au corps opaque comme le co-sinus de la hauteur de la lumière est au sinus de cette même hauteur; ainsi l'ombre *renversée est au corps qui la produit, comme le sinus* S C *de la hauteur de la lumière est à son co-sinus* S F.

1206. Nous avons dit (1189) que si un objet est

d'une grandeur sensible, il se trouve plusieurs points visibles tournés vers l'œil qui regarde cet objet : cet œil reçoit donc de chacun de ces points une pyramide composée de rayons divergens. L'œil devient donc comme la base commune d'un grand nombre de pyramides lumineuses, dont les sommets sont aux points radieux du corps visible; et comme la prunelle de l'œil est un trou, toutes ces pyramides de lumière y passent sans se confondre et en s'y croisant; après quoi, formant d'autres pyramides opposées aux premières par leur base, comme nous le prouverons ci-après (1521), elles vont porter leur sommet au fond de l'œil, et y faire chacune séparément leur impression. Si l'on veut se convaincre du croisement de ces pyramides, qui partant de différens points, passent par le même trou, il faut faire l'expérience suivante.

EXPÉRIENCE. Au volet d'une fenêtre exposée aux rayons solaires, faites trois trous *a*, *c*, *b* (*fig.* 162), que vous aurez soin de garnir chacun d'une lentille d'un court foyer. Cela représentera trois points radieux (1188); mais que la lentille du trou *a* soit d'un verre rouge, et celle du trou *b*, d'un verre bleu, celle du trou *c* étant d'un verre blanc. Présentez devant ces trois points radieux un large plan percé d'un trou *g*; et derrière ce plan un carton blanc, sur lequel vous recevrez les images des trois faisceaux de rayons qui passent par le trou *g*. Vous observerez qu'à une très-petite distance derrière le trou *g*, les trois faisceaux, une fois séparés, sont d'une couleur pure. Ceux qui partent du point *c*, et qui vont aboutir en *e*, restent sans couleur : ceux du point *a*, qui vont en *d*, sont d'un beau rouge; et ceux du point *b*,

qui vont en *f*, sont d'un bleu pur. Donc, 1°. ces pyramides lumineuses passent par le trou *g*, sans se confondre; donc, 2°. elles y passent en s'y croisant, puisque celle du bas va se peindre en haut, et celle du haut dans le bas.

1207. Supposons que le trou *g* représente la prunelle, et que le carton blanc, qui est derrière, soit le fond de l'œil. Puisque ce qui est en haut va se peindre dans le bas, etc. il s'ensuit que les objets se peignent au fond de nos yeux dans une situation renversée, et cependant nous les voyons droits. Cela doit être ainsi, d'après la situation de leurs images dans l'œil; car nous rapportons toujours l'objet dans la direction du rayon qui nous en apporte l'image. Supposons l'objet ACB (*fig.* 163) devant lequel un œil est placé. Les rayons qui partent de tous les points de cet objet tourné vers l'œil, vont se croiser dans la prunelle E (1206), et ensuite dessiner l'image de cet objet sur le fond DD de l'œil dans une situation *bca* renversée. D'après cette impression, on rapporte le point A, qui, étant en haut, est peint dans le bas de l'œil; on le rapporte, dis-je, dans la direction *a*EA, par la même raison, on rapporte le point B dans la direction *b*EB, etc. Par conséquent nous voyons cet objet dans sa situation naturelle : c'est le sentiment de *Kepler* et de *Descartes*. C'est pourquoi, comme nous le verrons ci-après (1313), nous jugeons l'objet hors de son vrai lieu, quand le rayon a souffert quelque inflexion. Il ne faut donc pas croire, comme quelques-uns le prétendent, que nous voyons naturellement les objets renversés, et que ce n'est que par habitude, et après que l'expérience du tou-

cher a rectifié le sens de notre vue, que nous les voyons droits. Il nous est, au contraire, impossible de les voir autrement que dans leur situation naturelle, quoiqu'ils soient peints dans l'œil dans une situation renversée, puisque nous les appercevons par des rayons qui se sont croisés dans la prunelle.

1208. On appelle *angles optiques* ou *visuels*, ceux qui sont formés par les rayons qui, partant des extrémités d'un objet, viennent converger à notre œil. Tels sont les angles AEB, HEI. Nous voyons les objets d'autant plus grands, que les angles optiques qui embrassent leur dimensions sont plus ouverts; et comme ces angles deviennent plus aigus, à mesure que l'objet s'éloigne de l'œil (l'angle HEI est plus aigu que l'angle AEB), il s'ensuit que *la grandeur apparente diminue comme la distance augmente.* C'est pour cette raison que, quoique la lune soit plus petite que Mars, Jupiter, etc. nous la voyons beaucoup plus grosse que ces astres, parce qu'elle est beaucoup plus près de nous. Il faut donc, pour juger de la grandeur réelle d'un corps, avoir égard à sa distance.

1209. L'éloignement respectif de deux objets, vus en même temps, se juge par le même principe; car on peut regarder ces deux objets comme les extrémités d'un seul. C'est pourquoi, lorsque nous entrons dans une avenue (*fig.* 164) formée d'arbres également hauts, et rangés dans deux lignes bien parallèles, elle nous paroît plus étroite et plus basse à l'autre extrémité. Il est aisé de voir que l'angle 6 O 6 est beaucoup plus aigu que l'angle 1 O 1. Les deux

arbres 6, 6, doivent donc nous paroître plus rapprochés l'un de l'autre; et, par conséquent, l'avenue plus étroite en cet endroit-là.

1210. On cesse ordinairement de voir un objet non lumineux par lui-même, et cependant éclairé, si les angles optiques ont moins de 1 minute de degré; mais les corps lumineux se voient sous des angles beaucoup plus petits. Aussi voyons-nous très bien les étoiles, quoiqu'elles n'aient pas une seconde de degré de diamètre apparent (1702).

1211. Malgré la certitude de ces principes, nous avons une infinité d'illusions d'optique, d'erreurs de la vue, dont nous ne pouvons nous défendre. Il est rare que nous appercevions, sous sa vraie figure, un objet que nous voyons d'un peu loin. Supposons une rangée d'arbres VTS (*fig.* 165) plantés dans la circonférence d'une portion de cercle dont la convexité est tournée vers l'œil O. Comme tous ces arbres nous paroissent également éclairés, nous les jugeons tous à égale distance de notre œil; nous devons donc les juger dans la circonférence SXV d'un cercle dont notre œil O occupe le centre; et si nous en sommes un peu éloignés, cela forme une si petite portion d'un si grand cercle, que cela nous paroît être une ligne sensiblement droite VS. C'est pour cette raison que le soleil et la lune nous paroissent des plans circulaires, quoique ce soient des globes; car leur centre ne nous paroît pas plus lumineux que leurs bords: nous les jugeons donc aussi éloignés de nos yeux.

1212. Nous ne jugeons pas exactement de la vîtesse du mouvement d'un corps, 1°. si nous ne con-

noissons pas la distance qu'il y a entre nous et ce corps; 2°. si l'espace que ce corps parcourt, se présente obliquement à nos regards. Car, supposons deux hommes placés, l'un en I et l'autre en L (*fig.* 166). Que le premier se rende en 2 minutes au point K, et l'autre en pareil temps au point M; et chacun avec une vîtesse uniforme : il faut nécessairement qu'ils aillent avec des vîtesses inégales, puisque l'un a plus de chemin à faire que l'autre en pareil temps : cependant ils paroîtront tous deux, à l'œil placé en E, aller avec des vîtesses égales; lorsque I sera en *n*, L sera en N; lorsque I sera en *o*, L sera en O, etc. et ils paroîtront tous deux vis-à-vis l'un de l'autre, et par conséquent aller avec des vîtesses égales, si l'on ne sait pas que l'un est plus éloigné que l'autre. Par une autre illusion d'optique, si deux hommes, partant du point I, vont, à pas égaux, l'un en K, l'autre en M, ils paroîtront à l'œil E, aller avec des vîtesses très-inégales.

1213. Le mouvement devient insensible à la vue, lorsqu'il n'excède pas 20 secondes de degré par seconde de temps. D'où il suit qu'une très-grande vîtesse peut être insensible à la vue, par la distance excessive qui est entre le mobile et l'œil. C'est pourquoi nous n'appercevons pas, d'une seconde à l'autre, le mouvement du soleil, qui ne paroît parcourir que 15 secondes de degré par seconde de temps.

1214. Si un mobile décrit une courbe, et que l'axe de la vision se trouve dans le plan de la courbe, nous n'appercevons pas la courbure. Supposons une bougie allumée placée en T (*fig.* 167) sur la circonférence du cercle T V X R, et que l'axe Y R V de la vision soit dans le plan de ce cercle : lorsque la

bougie passera de T en V, elle paroîtra à l'œil Y, aller de T en C : en passant de V en X, elle paroîtra aller de C en X, et ainsi du reste de la courbure; parce que dans tous les points de sa route elle paroît également lumineuse : on ne doit donc pas la croire plus éloignée dans un point que dans l'autre. C'est la raison pour laquelle nous ne voyons point circuler les satellites de Jupiter autour de leur astre principal : nous leur voyons seulement un mouvement alternativement de gauche à droite, et de droite à gauche.

1215. Les astres à l'horizon, tels que le soleil et la lune, nous paroissent toujours plus grands que lorsqu'ils sont plus élevés; plus grands en A (*fig.* 168) qu'en B ou en D. Une des raisons de cette illusion est qu'étant moins lumineux en A, à cause des vapeurs qu'il y a presque toujours vers l'horizon, nous les jugeons plus éloignés, et par conséquent plus grands. Aussi ne nous paroissent-ils pas décrire la courbe circulaire D F G, mais la courbe surbaissée D Z E. La grandeur apparente de ces astres à l'horizon doit être principalement attribuée, comme l'a fait le P. *Malebranche*, à l'interposition des objets terrestres. Une preuve de cela, c'est que, si l'on cache avec la main ou autrement, tous les objets qui se trouvent entre la lune et soi, de manière qu'on ne voie plus que l'astre, son diamètre paroît sensiblement diminué. Il y a probablement encore beaucoup d'autres raisons de ces sortes d'illusions d'optique.

Des principes de la Catoptrique.

1216. La catoptrique est une science qui a pour objet les effets de la lumière réfléchie. De même que les autres corps, la lumière exerce ses mouvemens, autant qu'elle peut, en lignes droites (1183) : ses rayons, toujours soumis aux règles générales, sont sujets aussi à se détourner de leur première direction, lorsqu'ils rencontrent un corps qui leur refuse le passage, et les force à rebrousser et à se réfléchir. Tous les corps non lumineux par eux-mêmes, mais visibles, réfléchissent donc de la lumière; sans quoi ils cesseroient d'être visibles. Mais c'est principalement à la rencontre des corps opaques que la lumière se réfléchit : aussi voit-on mieux ces derniers qu'on ne voit les corps transparens; et s'ils étoient parfaitement transparens, comme l'air, on ne les verroit point du tout.

1217. Mais quelque opaque que soit un corps, jamais il ne réfléchit toute la lumière qui tombe sur lui. On peut concevoir cette lumière partagée en trois parties, dont l'une se réfléchit régulièrement, affectant, après la réflexion, une direction qui a un rapport constant avec celle qu'elle avoit auparavant : une autre se réfléchit irrégulièrement en s'éparpillant, et se portant en toutes sortes de directions, à cause de l'inégalité inévitable des surfaces : enfin une troisième s'éteint dans le contact par une cause jusqu'à présent inconnue. Nous ne traiterons ici que de la première portion de lumière, que de celle qui se réfléchit avec régularité, car elle est la seule qui soit assujettie à des mouvemens qu'on puisse prévoir.

Nous ferons donc abstraction de la lumière dispersée et éteinte.

1218. L'expérience prouve que la lumière, lorsqu'elle se réfléchit, fait toujours l'angle de sa réflexion parfaitement égal à celui de son incidence. Supposons une surface, par exemple, un miroir *a b*, (*fig.* 169). Si un rayon de lumière y tombe dans une direction perpendiculaire *f c*, il se réfléchit dans la même direction, et fait, par conséquent, avec ce miroir, un angle droit en se réfléchissant, de même qu'il a fait, avec ce même miroir, un angle droit en y tombant.

1219. S'il y arrive dans une direction oblique, comme, par exemple, *e c*, il se réfléchit dans la direction *c d*; et fait, avec ce miroir, l'angle de sa réflexion *d c b* parfaitement égal à l'angle de son incidence *e c a*.

1220. Puisque l'angle de la réflexion de la lumière est toujours égal à son angle d'incidence (1218, 1219), cela prouve que les parties qui causent sa réflexion ont un ressort parfait. Comme on ne peut pas attribuer cette perfection de ressort aux surfaces des corps, on croit que ce ne sont pas les parties propres des surfaces qui réfléchissent la lumière : et *Newton* a pensé qu'elle est réfléchie par une puissance réfléchissante, qui se trouve en devant de la surface du corps; car il dit (*page* 312 *de son Optique*), que « la » réflexion d'un rayon de lumière est produite, non » par un point particulier du corps réfléchissant, » mais par quelque puissance du corps, qui est éga- » lement répandue sur toute sa surface, et par la- » quelle le corps agit sur le rayon sans le toucher im- » médiatement ». Il n'y a certainement rien de plus

ressemblant aux *qualités occultes* que cette *puissance réfléchissante*. Mais c'est ainsi qu'on raisonne, lorsqu'on n'a pas le courage d'avouer qu'on ignore la cause d'un fait, ce qui seroit cependant plus simple et plus vrai. Ne pourroit-on pas dire que la lumière est réfléchie par les parties mêmes de la lumière, encadrées dans les pores des corps ? car les corps les plus denses, tels que l'or, ont, suivant *Newton* lui-même (*page* 313 *de son Optique*), dans leurs contextures, plus de vides que de parties solides. Leur surface peut donc être regardée comme un réseau, dont les petites mailles sont remplies de la matière de la lumière. La facilité avec laquelle la plupart des corps devient phosphorique (1182), semble le prouver.

1221. Cette loi générale, que *la lumière fait toujours son angle de réflexion égal à celui de son incidence* (1218), est le fondement de toute la catoptrique; elle seule suffit pour rendre raison de tous les phénomènes : toutes les autres loix n'en sont que des suites et des applications. Cependant, pour rendre ceci plus facile à saisir, nous allons exposer les différentes apparences qui se remarquent dans les différentes circonstances, et que l'on verra bien qui ne sont que des suites et des applications de ce premier principe.

1222. Pour que la lumière réfléchie nous trace l'image d'un objet, il faut que plusieurs rayons agissent ensemble : un seul feroit au fond de notre œil une image trop foible; nous ne l'appercevrions pas. Or ces rayons peuvent être différemment disposés relativement les uns aux autres : ils peuvent être ou parallèles entr'eux, ou convergens ou divergens; et les surfaces sur lesquelles ils tombent, peuvent être ou

ou planes, ou convexes, ou concaves. Voici ce qui arrive dans ces différens cas, en partant du principe établi ci-dessus (1221).

1223. 1°. Supposons une surface plane. Des rayons parallèles qui tombent sur cette surface, sont réfléchis parallèles; des rayons convergens sont réfléchis avec le même degré de convergence; et des rayons divergens sont réfléchis avec le même degré de divergence. De sorte que les surfaces planes ne changent rien à la disposition naturelle des rayons de lumière. Soient les miroirs plans *a b* (*fig.* 170, 171, 172.)

1224. Les rayons *d b* et *c a* (*fig.* 170), qui sont parallèles entre eux, après avoir touché la surface *a b*, sont réfléchis, l'un vers *h*, et l'autre vers *k*, faisant avec le miroir, l'un l'angle de réflexion *i b h*, égal à son angle d'incidence *f b d*; et l'autre, l'angle de réflexion *g a k*, égal à son angle d'incidence *e a c*, puisque ces deux angles ont pour mesure des arcs égaux de cercles égaux; et l'on voit que ces deux rayons sont parallèles après leur réflexion, comme ils l'étoient avant leur incidence.

1225. Les rayons *d b* et *c a* (*fig.* 171), qui sont convergens entr'eux, de manière que, sans l'interposition du miroir *a b*, ils iroient se réunir en E, sont réfléchis de manière que, faisant chacun l'angle de leur réflexion *g b k* ou *i a h*, égal à l'angle de leur incidence *f b d* ou *e a c*, ils vont se réunir en F, point aussi éloigné des deux points de contacts *a* et *b* que l'est le point E. Donc leur convergence est, après leur réflexion, la même qu'elle l'étoit auparavant.

1226. Les rayons *d b* et *c a* (*fig.* 172), qui sont divergens entr'eux, ont, après leur réflexion vers *h*

et *k*, le même degré d'écartement en F qu'ils auroient eu en E, si, n'ayant point rencontré le miroir *a b*, ils avoient continué de se mouvoir dans leur première direction. Or les deux points F et E sont également distans des points de contacts *a* et *b*. Donc leur divergence est, après leur réflexion, la même qu'elle étoit auparavant.

1227. 2°. Supposons une surface convexe. Des rayons parallèles qui tombent sur cette surface, sont réfléchis divergens; des rayons convergens sont réfléchis moins convergens; ils peuvent même perdre toute leur convergence, et devenir parallèles ou même divergens, suivant le plus ou le moins de courbure de la surface qui les réfléchit : des rayons divergens sont réfléchis plus divergens. De sorte que les surfaces convexes tendent toujours à éparpiller les rayons de lumière, en en diminuant la convergence, et en en augmentant la divergence. Soient les miroirs convexes *b d* (*fig.* 173, 174, 175). Je représente ici les miroirs courbes par deux élémens inclinés l'un à l'autre; parce que toutes les courbes sont des assemblages de lignes droites infiniment courtes et insensiblement inclinées entr'elles; et je fais ces élémens un peu grands, afin de me faire plus facilement entendre.

1228. Les rayons *a b* et *c d* (*fig.* 173), qui sont parallèles entr'eux, rencontrant le miroir convexe *b d*, et faisant leurs angles de réflexion *f b e* et *h d i* égaux à ceux de leur incidence *g b a* et *k d c*, sont divergens après leur réflexion.

1229. Les rayons *a b* et *c d* (*fig.* 174), qui sont convergens, de manière que, sans l'interposition du

miroir *b d*, ils iroient se réunir en *m*, vont, d'après le même principe, se réunir en *l*, bien plus loin des points de contacts *b* et *d*, que ne l'est le point *m* : et l'on voit que, si l'inclinaison des deux élémens *b* et *d* de la courbure étoit plus grande, ils pourroient être réfléchis parallèles, ou même divergens.

1230. Les rayons *a b* et *c d* (*fig.* 175), qui, sans l'interposition du miroir convexe *b d*, seroient très-peu divergens en *m*, prennent, après leur réflexion, un écartement beaucoup plus grand vers *l*, qui désigne un pareil degré d'éloignement.

1231. 3°. Supposons une surface concave. Des rayons parallèles, qui tombent sur cette surface, sont réfléchis convergens; des rayons déjà convergens sont réfléchis plus convergens; et des rayons divergens sont réfléchis moins divergens; il peuvent même perdre toute leur divergence, et devenir parallèles, ou même convergens. De sorte que les surfaces concaves tendent toujours à rassembler les rayons de lumière, en en augmentant la convergence, et en en diminuant la divergence. Soient les miroirs concaves *b d* (*fig.* 176, 177, 178). Il suffit de jeter les yeux sur ces figures, pour voir la vérité de ce que nous venons d'avancer.

1232. Les rayons *a b* et *c d*, après avoir fait leurs angles de réflexion égaux à ceux de leur incidence, et qui (*fig.* 176) sont parallèles avant leur réflexion, deviennent après convergens en *l*.

1233. Les rayons *a b* et *c d* (*fig.* 177), qui, sans l'interposition du miroir *b d*, n'iroient se réunir qu'en *m*, après leur réflexion se réunissent en *l*, bien

plus près des points de contacts *b* et *d* que ne l'est le point *m*.

1234. Enfin les rayons *a b* et *c d* (*fig.* 178), qui, avant leur réflexion, sont divergens entr'eux, deviennent après convergens vers *o*.

1235. Au moyen de ces principes, il est aisé de prévoir tous les effets des miroirs, et d'en rendre raison; et, en général, d'expliquer tous les phénomènes qui dépendent de la catoptrique.

1236. On appelle *miroir* un corps dont la surface est assez bien polie pour réfléchir avec régularité la plus grande partie des rayons de lumière qu'elle reçoit, et pour représenter les images des objets qu'on met au-devant. Tels sont les miroirs de métal et ceux de glace étamée. Ces derniers sont d'un usage plus fréquent, parce qu'ils sont d'un poli plus beau et plus durable; mais ils ont un défaut qui ne permet pas de les employer dans les instrumens de catoptrique, tels que les télescopes, etc. où l'on a besoin d'une grande précision. Ce défaut est de donner presque toujours deux images du même objet; l'une foible par la surface antérieure, et l'autre beaucoup plus forte, par le tain qui couvre la surface postérieure. Supposons la flamme F (*fig.* 179) d'une bougie placée devant un miroir *a ç b d*; que d'un point de cette flamme partent deux rayons F *g*, F *h*, qui tombent sur le miroir; l'un en *g*, sur la surface antérieure *a b*; et l'autre, pénétrant jusqu'en *h* à la surface postérieure *c d*. Ce dernier sera réfléchi vers *f*, et formera une image forte, et l'autre sera réfléchi vers *e*, où il formera une image foible, d'autant plus distante de la première, que l'épaisseur *a c* de la glace sera plus

considérable. Ce que nous disons d'un seul point, peut se dire de tous les points de l'objet : les deux images de l'objet entier, anticipant par-là l'une sur l'autre, rendroient, dans un instrument de catoptrique, la vision très-peu distincte. Voilà pourquoi, dans ces instrumens, on n'emploie pas de miroirs de glace. Il arrive quelquefois qu'on voit un plus grand nombre d'images, sur-tout en regardant obliquement la flamme d'une bougie dans un miroir de glace étamée. Ces images sont produites par les rayons qui, après avoir été réfléchis par la surface postérieure étamée, ne sortent pas tous; mais une partie est réfléchie en dedans de la glace par les parties solides de la surface antérieure, et de-là est renvoyée de nouveau par la surface postérieure, ce qui produit une nouvelle image plus foible que la précédente, parce qu'elle est formée par un plus petit nombre de rayons. De cette manière, il se forme plusieurs images de suite par les réflexions réitérées des rayons au-dedans de la glace, et ces images vont toujours en s'affoiblissant.

1237. On peut diviser les miroirs, en *miroirs plans*, *miroirs convexes*, *miroirs concaves* et *miroirs mixtes :* parmi les miroirs plans, on peut placer les *prismatiques* et les *pyramidaux ;* car ils ne sont composés que de surfaces planes inclinées les unes aux autres. Parmi les miroirs concaves, on peut placer les *elliptiques* et les *paraboliques*, dont les surfaces sont composées de lignes courbes, comme le sont celles des concaves. Les miroirs mixtes sont les *cylindriques* et les *coniques*, dont les surfaces sont composées de lignes droites dans un sens, et courbes dans l'autre. Disons un mot de chacun de ces miroirs, et

de la manière dont ils représentent les images des objets placés devant eux.

Du Miroir plan.

1238. Dans un miroir plan *a b* (*fig.* 180), l'image d'un objet, par exemple *c*, paroît (à un œil placé en *e*) derrière le miroir *a b*, dans la direction *e g*, et toujours dans l'intersection *g* de la cathète d'incidence *e g* avec le rayon réfléchi *e g*; et par conséquent à une distance *g* égale à celle à laquelle l'objet *c* est placé pardevant : donc on voit toujours l'image dans le même lieu, quel que soit le rayon réfléchi qui la fasse appercevoir. Car comme les miroirs plans ne changent rien à la disposition des rayons qui tombent sur eux (1225), les rayons divergens partant du point *c*, sont réfléchis vers l'œil *e*, par le miroir *a b*, avec le même degré de divergence (1226); et ont, par conséquent, leur point de réunion fictif *g*, à une distance *a g* derrière le miroir égale à la distance *a c* à laquelle l'objet c est placé pardevant.

1239. Par la même raison, les miroirs plans ne changent rien aux figures des images, non plus qu'à leurs grandeurs apparentes, Car les rayons convergens K *m*, L *n* (*fig.* 181), partant des extrémités de l'objet K L, et tombant sur le miroir *a b*, sont réfléchis vers l'œil *e* avec le même degré de convergence (1225); et, par conséquent, font voir l'image *k l* sous un angle égal à celui sous lequel l'objet lui-même eût été vu du point *i*, sans l'interposition du miroir *a b*.

1240. De ce que chaque point de l'image est vu derrière le miroir à une distance égale à celle de ce point de l'objet pardevant (1238), il s'ensuit que, si

l'objet K L est incliné au miroir, son image *k l* sera vue inclinée en sens contraire. Voilà pourquoi, pour que les glaces, dans un appartement, produisent de bons effets, il faut avoir soin de les placer à angles droits avec les planchers, et bien parallèles aux murs, que je suppose verticaux.

1241. Si un objet AB (*fig.* 182) est situé parallèlement à un miroir CD, et qu'il en soit à la même distance que l'œil placé en O, la ligne de réflexion CD, c'est-à-dire, la partie du miroir sur laquelle tombent les rayons AC, BD, etc. de l'objet AB qui se réfléchissent vers l'œil O, sera la moitié de la longueur de l'objet AB, parce que les images étant placées derrière le miroir à une distance égale à celle de l'objet pardevant (1238), les rayons OG, OH sont coupés par le miroir CD à la moitié de leur longueur, et par conséquent à l'endroit où leur écartement n'est que la moitié de ce qu'il seroit à une distance double. Ainsi, pour pouvoir appercevoir un objet entier dans un miroir plan, il faut que la longueur et la largeur du miroir soient moitié de la longueur et de la largeur de l'objet. D'où il suit qu'étant données la longueur et la largeur d'un objet qui doit être vu dans un miroir, on aura aussi la longueur et la largeur que doit avoir le miroir, pour que l'objet, placé à la même distance de ce miroir que l'œil, puisse y être vu en entier.

1242. Il suit encore de là que, puisque la longueur et la largeur de la partie réfléchissante du miroir sont sous-doubles de la longueur et de la largeur de l'objet (1241), la partie réfléchissante de la surface du miroir, est à la surface de l'objet en

raison de 1 à 4. Et, par conséquent, si, en une certaine position, nous voyons dans un miroir un objet entier, nous le verrons de même à toute autre distance, soit que nous nous en approchions, soit que nous nous en éloignions, pourvu que l'objet s'approche ou s'éloigne en même temps, et soit toujours à la même distance du miroir que l'œil.

1243. Mais si nous nous éloignons du miroir, l'objet restant toujours à la même place, alors la partie de la surface du miroir qui doit représenter l'image de l'objet, doit être plus que le quart de la surface de l'objet; et, par conséquent, si le miroir n'a de surface que le quart de celle de l'objet, on ne pourra plus voir l'objet entier. Au contraire, si nous nous approchons du miroir, l'objet restant toujours à la même place, la partie réfléchissante du miroir sera moindre que le quart de la surface de l'objet. Ainsi on verra, pour ainsi dire, plus que l'objet tout entier; et on pourroit diminuer le miroir jusqu'à un certain point, sans que cela empêchât de voir l'objet dans toute son étendue.

1244. En général, pour expliquer avec la plus grande facilité les phénomènes des objets vus dans un miroir plan, on n'a besoin que de ce seul principe : *L'image d'un objet vu dans un miroir plan, est toujours dans la perpendiculaire menée de l'objet à ce miroir et prolongée derrière; et cette image est autant au-delà du miroir que l'objet est en-deçà.* Avec le secours de ce principe et des premiers élémens de la géométrie, on trouvera facilement la résolution de toutes les questions qu'on peut proposer sur cette matière.

1245. L'égalité des angles d'incidence et de réflexion dans les miroirs (1218) fournit une méthode pour mesurer des hauteurs inaccessibles, au moyen d'un miroir plan. Placez pour cela votre miroir horizontalement, comme en C (*fig.* 185), et éloignez-vous-en jusqu'à ce que vous y puissiez appercevoir, par exemple, la cime d'un arbre, dont le pied répond bien verticalement au sommet. Mesurez l'élévation verticale ED de votre œil au-dessus de l'horizon ou du plan du miroir, ainsi que la distance EC de la station E au point de réflexion C, et la distance BC du pied de l'arbre à ce même point. Enfin cherchez une quatrième proportionnelle BA aux lignes EC, ED et BC, et ce sera la hauteur cherchée. En effet, l'égalité des angles d'incidence ACB et de réflexion DCE (1218), rend semblables les triangles ACB, DCE, qui sont rectangles en B et en E; d'où il suit que ces triangles ont leur côtés homologues proportionnels, et qu'ainsi EC est à ED dans le même rapport que BC est à BA, hauteur cherchée.

Du Miroir prismatique.

1246. Le miroir prismatique est composé de miroirs plans, inclinés les uns aux autres, et qui ont chacun la figure d'un parallélogramme. Tel est le miroir représenté *fig.* 184. Ce miroir a la propriété de rassembler dans une seule image, et sans interruption, plusieurs objets, ou plusieurs parties d'un même dessin dispersées et séparées par des espaces qui sont ou vides ou remplis par d'autres figures, qui ne se réprésentent point dans le miroir. Supposons, par exemple, que le miroir soit composé de quatre faces élevées perpendiculairement autour d'une base

dkabt (*fig.* 185); l'œil placé à une certaine distance comme en C, et élevé d'un pied ou environ au-dessus du plan qui porte le miroir, appercevra, par les rayons *se*, *rb*, *qb*, *pa*, etc. réfléchis des points *e*, *b*, *a*, etc. vers C, tout ce qui sera dessiné dans les bandes *srbt*, *qbab*, *lmka*, *ondk*; et tout ce qui ne s'y trouvera pas renfermé, ne se verra point dans le miroir, si l'œil ne se porte ni à droite ni à gauche : on pourra donc remplir d'objets étrangers au dessin tous les espaces qui se trouvent entre ces bandes; et dégriser par ce moyen la figure dont le miroir doit représenter l'image, et dont les parties sont séparées par ces espaces : ce qui rend ces figures difficiles à deviner sans le secours du miroir.

Du Miroir pyramidal.

1247. Le miroir pyramidal est composé de miroirs plans triangulaires, inclinés les uns aux autres, de manière que les sommets de tous les triangles ont un point commun de réunion, lequel forme le sommet de la pyramide. Tel est le miroir représenté *fig.* 186. Ce miroir a, de même que le prismatique, la propriété de rassembler dans une seule image, et sans interruption, plusieurs objets dispersés et séparés par des espaces qui sont ou vides ou remplis par d'autres figures qui ne se représentent point dans le miroir. Supposons, par exemple, que le miroir soit composé de quatre faces triangulaires, et que *abcd* (*fig.* 187) représente la base du miroir. Ce qui se trouvera dessiné dans les espaces triangulaires A, B, C, D, sera représenté dans les parties correspondantes *a*, *b*, *c*, *d*, de la base; et l'image ne comprendra rien de tout ce qu'on pourroit avoir mis dans les

espaces E, F, G, H, pour interrompre le dessin, et empêcher qu'on n'apperçoive les rapports que ses parties ont entr'elles. Il faut observer que les rayons réfléchis *g* G, *h* G, *i* G, etc. (*fig.* 188) font voir à l'œil G, placé dans le prolongement de l'axe de la pyramide, les points A, B, C, etc. de l'objet dans un ordre opposé *c, b, a,* à celui qu'ils ont sur le dessin; de sorte que le point A, le point D, etc. vont se réunir pour former le centre de l'image. Il faut donc que toutes les parties de la figure, qui sont renfermées dans chacun des triangles 1, 2, 3, 4 (*fig.* 189), soient placées à contre-sens, afin que l'image, apperçue dans le miroir, représente son objet au naturel.

Du Miroir convexe.

1248. La surface des miroirs convexes est assez ordinairement sphérique. Ces miroirs ont la propriété d'éparpiller les rayons de lumière qu'ils réfléchissent (1227); car ils rendent divergens ceux qui sont parallèles (1228) : ils augmentent la divergence de ceux qui sont déjà divergens (1230), et ils diminuent la convergence de ceux qui sont convergens; quelquefois même ils les rendent parallèles ou divergens (1229). Nous allons en avoir la preuve, en suivant la loi générale établie ci-dessus (1221). Supposons un objet *de* (*fig.* 190) placé devant un miroir convexe *ab*. Des deux faisceaux de rayons qui partent des extrémités de l'objet, les rayons *dp* et *ep*, qui, sans l'interposition du miroir, auroient été converger en *p*, sont réfléchis moins convergens sur la ligne *fg*; les deux rayons *dk* et *el*, qui auroient été converger en *m*, sont réfléchis parallèles; les deux rayons *dh* et *ei*, qui auroient été converger

en *c*, centre de la convexité, sont réfléchis sur eux-mêmes à cause de leur incidence perpendiculaire, et sont, par conséquent, divergens; et tous les rayons qui tombent au-delà de ces derniers, sont réfléchis encore plus divergens.

1249. Les miroirs convexes, de même que les miroirs plans, font voir l'image derrière eux, et dans une situation conforme à celle de l'objet; mais cette image, 1°. est plus petite que l'objet. Soit l'objet CD (*fig.* 191) placé devant le miroir convexe *ab*, les deux rayons C*e* et D*d*, qui embrassent les extrémités de l'objet, et qui, sans l'interposition du miroir, iroient converger en *f*, sont réfléchis moins convergens (1229), et vont se réunir en *i*, en formant ensemble un angle plus aigu. Ils font donc voir l'image *gh* sous une plus petite dimension, et d'autant plus petite que l'objet est plus loin du miroir,

1250. 2°. Cette image se trouve plus près derrière le miroir que l'objet n'est placé pardevant. Soit G (*fig.* 192) un point quelconque d'un objet, d'où part un faisceau de rayons divergens qui vont tomber sur le miroir; ces rayons sont réfléchis plus divergens (1230), et ont, par conséquent, leur point fictif de réunion *g* plus rapproché; ce qui fait voir l'image plus près derrière le miroir que l'objet ne l'est pardevant, et ces effets augmentent proportionnellement à la convexité du miroir. Nous verrons bientôt (1254) que les miroirs concaves ont des foyers réels; les miroirs convexes n'ont qu'un foyer virtuel, et ce foyer est derrière le miroir, à une distance de ce miroir égale à la moitié du rayon de sa convexité.

1251. L'image d'un objet d'une certaine grandeur et droit, placé parallèlement ou obliquement à la

surface d'un miroir convexe, se représente, dans ce miroir, sous une figure courbe, parce que les différens points de cet objet ne sont pas tous à égales distances de la surface du miroir. Le point *o*, par exemple, de l'objet *de* (*fig.* 190) est plus près que tous les autres de la surface du miroir; et les points extrêmes *d* et *e* en sont les plus éloignés. Ils doivent donc se représenter, derrière le miroir, à des distances proportionnelles à celles auxquelles ils sont placés pardevant, ce qui fait paroître l'image courbe.

Du Miroir concave.

1252. La surface des miroirs concaves est ordinoirement sphérique, quoique ce ne soit pas la meilleure courbure qu'on puisse lui donner; mais les autres courbures seroient trop difficiles à obtenir de l'adresse des ouvriers : on en fait cependant quelquefois, mais rarement, d'elliptiques et de paraboliques, dont nous parlerons ci-après (1265 et 1266). Occupons-nous maintenant du sphérique.

1253. Les miroirs concaves ont la propriété de rassembler les rayons de lumière qu'ils réfléchissent (1231); car ils rendent convergens ceux qui sont parallèles (1232), ils augmentent la convergence de ceux qui sont déjà convergens (1233), et ils diminuent pour le moins la divergence de ceux qui sont divergens; quelquefois ils les rendent parallèles ou même convergens (1234); et tous ces effets augmentent proportionnellement à la concavité du miroir.

1254. Le point où les rayons se réunissent, s'appelle *foyer*. Mais ce foyer n'est pas le même pour

toutes sortes de rayons incidens. Les rayons parallèles, tels que *a b*, *d e*, (*fig.* 193), sont réfléchis par le miroir concave *mo*, et vont se réunir au point F, distant du miroir d'une quantité égale au quart du diamètre de la sphère dont ce miroir est une partie; et c'est ce point-là que l'on appelle le *foyer des rayons parallèles* ou le *vrai foyer du miroir.* Les rayons convergens, tels que *fg*, *hi*, sont réfléchis plus convergens, et vont se réunir entre le foyer des rayons parallèles et le miroir, comme, par exemple, en K. Enfin les rayons divergens et qui partent d'un point plus éloigné du miroir que le foyer des rayons parallèles, tels que R *m*, R *o*, sont réfléchis convergens, et vont se réunir au-delà du foyer des rayons parallèles, comme, par exemple, en P. Mais si le point de divergence de ces rayons étoit plus près du miroir que le foyer des rayons parallèles; si, par exemple, ils partoient du point K, ils seroient réfléchis divergens, et iroient, l'un de *g* vers *f*, et l'autre de *i* vers *h*.

1255. Le foyer des rayons parallèles est donc au quart du diamètre de la sphéricité du miroir; le foyer des rayons convergens est plus près du miroir que celui des rayons parallèles, et le foyer des rayons divergens en est plus éloigné.

1256. Les miroirs plans, ainsi que les convexes, font voir, comme nous l'avons prouvé ci-dessus (1238 et 1249), l'image derrière eux, et dans une situation conforme à celle de l'objet. Mais les miroirs concaves ne produisent cet effet que lorsque l'objet est placé entre le foyer des rayons parallèles et le miroir; et alors cette image est plus grande que l'objet. Soit l'objet A B (*fig.* 194) placé devant le miroir

concave EF, et plus près de ce miroir que le foyer des rayons parallèles. Les deux rayons A *e*, B *f*, qui embrassent les deux extrémités de l'objet, et qui, sans l'interposition du miroir, iroient converger en *d*, sont réfléchis plus convergens (1253), et vont se réunir en D, en formant ensemble un angle plus grand; ils font donc voir l'image *a b* plus grande que l'objet

1257. De plus, cette image se trouve plus loin derrière le miroir, que l'objet n'est placé pardevant. Supposons A (*fig.* 195) un point quelconque d'un objet, placé plus près du miroir que le foyer des rayons parallèles F, duquel point part un faisceau de rayons divergens qui, tombant sur le miroir, sont réfléchis moins divergens (1251), et ont, par conséquent, leur point fictif *a* plus éloigné; ce qui fait voir l'image plus loin derrière le miroir que l'objet ne l'est pardevant.

1258. Mais si l'objet est placé plus loin du miroir que le foyer F des rayons parallèles, comme, par exemple, en *e*, les rayons *e b*, *e d*, trop peu divergens lorsqu'ils arrivent au miroir, sont réfléchis convergens (1254), et vont tracer en E l'image de l'objet. De sorte que, si l'œil *o* se recule autant qu'il est nécessaire pour que les rayons, après s'être croisés en formant l'image, aient repris le degré d'écartement convenable, il apperçoit l'image E entre le miroir et lui. La raison de cela est que chaque point éclairé d'un objet nous devient visible par un faisceau de rayons divergens (1190) Nous cessons donc de le voir, si ces rayons deviennent parallèles ou convergens : c'est ce qui arrive, lorsque l'objet n'est pas plus près du miroir que le foyer des rayons pa-

rallèles : il faut donc que l'œil se recule au-delà du lieu E de l'image, où les rayons, après s'être croisés, redeviennent divergens.

1259. Cette image est toujours en sens contraire de l'objet. Telle est l'image *b a* de l'objet AB (*fig.* 196). La raison de cela est que nous ne pouvons voir un objet entier AB, à moins qu'il ne se fasse vers l'œil H un concours de ces faisceaux de rayons divergens AE, BG, qui partent de ses extrémités (1190). Or ce concours ne peut avoir lieu qu'après que ces faisceaux se sont croisés entre l'objet et le miroir; ce qui ne peut pas manquer de renverser l'image.

1260. C'est sur cette propriété du miroir concave; savoir, de représenter l'image de l'objet au-devant de lui et non par derrière, lorsque cet objet est placé plus loin du miroir que le foyer des rayons parallèles (1258); c'est sur cette propriété, dis-je, qu'est fondée la construction des télescopes catadioptriques (1623); car dans ces instrumens, nous ne voyons autre chose que l'image formée en devant du miroir.

1261. Puisque les rayons parallèles, qui tombent sur un miroir concave, se réfléchissent de manière à se réunir vers son foyer (1254), les rayons solaires, qui peuvent tomber sur la surface d'un miroir concave, pouvant être regardés comme sensiblement parallèles, doivent donc se réunir vers le foyer de ce miroir, et y en former un brûlant (1120).

1262. Puisque des rayons parallèles *a b*, *d c* (*fig.* 193), qui tombent sur un miroir concave *m o*, sont réfléchis de manière à se réunir à son foyer F (1254); il suit de là que des rayons divergens, partant

tant du foyer F et tombant sur le miroir, sont réfléchis parallèles. Cela fournit un moyen de projeter une lumière très-forte à une grande distance, en mettant par exemple, un bougie allumée au foyer F d'un miroir concave. Les rayons lancés par cette bougie, et qui tomberont sur le miroir, seront réfléchis parallèles, et formeront un long cylindre d'une lumière très-vive.

1263. Si ce cylindre de lumière étoit reçu sur un autre miroir concave, les rayons qui le composent, se réuniront au foyer de ce miroir, et y formeront un foyer brûlant. Cette expérience a été faite plusieurs fois. On place deux miroirs concaves l'un devant l'autre, et parallèlement l'un à l'autre, à une distance de 25 ou 30 pieds (8 ou 10 mètres) : au foyer de l'un on met un gros charbon allumé que l'on anime avec un soufflet à double ame; et au foyer de l'autre on place une mèche et une amorce. Les rayons, partant du charbon et réfléchis par le premier miroir, vont se réfléchir encore sur le second et se réunir à son foyer, où ils embrasent la mèche et l'amorce.

1264. Si l'on place un objet au centre d'un miroir concave, tous les rayons qui tombent sur le miroir, se réfléchissent sur eux-mêmes, parce qu'alors l'incidence étant perpendiculaire, la réflexion l'est aussi (1218). Ainsi un œil, placé au centre d'un miroir concave, ne verra rien autre chose que lui-même, mais confusément et dans toute l'étendue du miroir.

Du Miroir elliptique.

1265. La surface d'un miroir elliptique est celle d'un sphéroïde elliptique. La propriété de ce miroir, qui, de même que l'ellipse, a deux foyers, est de réfléchir à l'un de ses foyers tous les rayons qui partent de l'autre, de façon que, si l'on met, par exemple, à l'un de ses foyers une bougie allumée, sa lumière se rassemble à l'autre foyer. La construction d'un pareil miroir est très-difficile, aussi en fait-on peu d'usage.

Du Miroir parabolique.

1266. La surface d'un miroir parabolique est celle d'un conoïde parabolique. La propriété de ce miroir est que les rayons qui partent de son foyer, et qui tombent sur sa surface, sont réfléchis parallèlement à son axe : et réciproquement, les rayons qui viennent parallèlement à l'axe du miroir, tomber sur sa surface, comme, par exemple, ceux du soleil, sont réfléchis à son foyer. D'où il suit qu'un tel miroir, s'il étoit bien fait (mais ce qui est très-difficile), seroit un très-bon miroir ardent.

Du Miroir cylindrique.

1267. La surface réfléchissante d'un tel miroir est cylindrique. Tel est le miroir représenté *fig.* 197. La surface de ce miroir est composée de lignes droites dans le sens de sa hauteur AB, et de lignes circulaires dans le sens de sa largeur CD : c'est pour cela qu'on le nomme *miroir mixte.*

1268. Ce miroir a la propriété de produire tout à la fois les effets des miroirs plans, et ceux des mi-

roirs convexes. Supposons G F (*fig.* 198) sa hauteur : un objet A E étant couché devant ce miroir, tous les rayons, partant des points A, B, C, D, E, tombant sur la surface G F du miroir, et étant réfléchis vers l'œil O, devroient représenter les images de ces différens points en *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, comme le feroit un miroir plan (1238) : la dimension, dans ce sens-là, ne doit donc pas être changée (1239). Mais, comme dans l'autre sens, le miroir est courbe, supposons que *q t y* (*fig.* 199) représente sa largeur : les rayons A *q*, L *r*, M *s*, N *t*, O *x*, P *z*, F *y*, étant réfléchis vers l'œil Z, font voir tous ces points A, L, M, N, etc. de l'objet dans l'espace *af*; ce qui diminue beaucoup, dans ce sens-là, la dimension de l'image : propriété du miroir convexe (1249). Il doit arriver la même chose à tous les points visibles qui sont dans les autres lignes B Q G, C R H, D T I, E S K, concentriques à la surface du miroir. Il faut donc que ces parties soient très-étendues dans le dessin, pour que l'image ressemble à quelque chose de connu.

1269. Et comme le miroir convexe fait voir l'image derrière le miroir plus près que l'objet n'est par-devant (1250), cette image, au lieu d'être couchée en *a e* (*fig.* 198), comme nous l'avons dit ci-dessus (1268), se trouve relevée, comme *e g*, et par conséquent rapprochée : autre propriété du miroir convexe (1250).

1270. Et si l'œil s'élève comme en K, la hauteur de l'image augmente de la quantité *g h*; parce que l'angle visuel (1208) devient par-là moins aigu.

1271. Dans la plupart des miroirs cylindriques, la surface courbe est convexe : on en fait cependant

d'autres, dont cette surface est concave ou creuse. Ils produisent à-peu-près les mêmes effets, cependant avec cette différence, que la surface étant convexe, l'image est vue derrière le miroir; et lorsqu'elle est creuse, l'image est vue en devant du miroir (1258); parce que l'objet est toujours placé plus loin que le foyer des rayons parallèles.

1272. Si l'on présente au soleil un miroir cylindrique concave, on verra les rayons se réfléchir, non dans un foyer, mais dans une ligne lumineuse parallèle à l'axe, et à une distance à-peu-près égale au quart dn diamètre.

Du Miroir conique.

1273. La surface réfléchissante d'un tel miroir a la forme d'un cône. Tel est le miroir représenté *fig.* 200. La surface de ce miroir est composée de lignes droites dans le sens de sa hauteur A B, et de lignes circulaires dans le seus de sa largeur C D; mais de façon que toutes les lignes droites ont un point commun de réunion A, lequel forme le sommet du cône. Ce sont ces lignes de différentes espèces qui ont fait donner à ce miroir le nom de *miroir mixte.*

1274. Ce miroir a, de même que le miroir cylindrique (1268), la propriété de prodnire tout-à-la-fois les effets des miroirs plans et ceux des miroirs convexes. Supposons C K F (*fig.* 201) la coupe verticale d'un miroir conique; et les deux lignes C K et F K deux des lignes droites qui le composent, et qui ont un point de réunion en K. Ces deux lignes, qui représentent deux miroirs plans inclinés l'un et l'autre, en doivent produire les effets. Les rayons partant des points A, B, C, tombant sur la surface

du miroir aux points g, h, i, et étant réfléchis vers l'œil O, doivent représenter ces points dans la base du miroir, dans un ordre opposé a, b, c. Il faut dire la même chose des points D, E, F, représentés en d, e, f; ainsi que de tous ceux qui se trouvent dans les circonférences des cercles, dont on ne voit ici que les moitiés AHD, BIE, CGF. Mais, comme de chaque point il ne part point des rayons simples, mais des faisceaux de rayons (1188), le miroir les modifie comme le fait un miroir convexe. En conséquence, l'image paroît beaucoup plus petite que l'objet (1249), et plus près de l'œil qu'elle ne seroit si le miroir étoit purement droit (1250).

1275. D'après ce que nous venons de dire (1274), on doit donc voir au centre de l'image ce qui est dessiné dans la circonférence extérieure AHD; et les extrémités de l'image doivent être composées de ce qui se trouve dans la circonférence intérieure CGF.

1276. Et comme la courbure du miroir augmente de plus en plus, en approchant de la pointe du cône, puisque les cercles qui le composent vont toujours en diminuant de diamètre, il s'ensuit que ce qui est le plus étendu dans l'objet; est le plus resserré dans l'image. Voilà pourquoi ces objets sont très-difficiles à reconnoître, sans le secours du miroir. On ne se douteroit pas, par exemple, que le carton noirci (*fig.* 202) doit représenter dans le mirroir un as de pique à quelqu'un qui met son œil dans le prolongement de l'axe du cône. Les points a, b, c, d, e, f, g, etc. de la circonférence intérieure, forment les extrémités de l'image; et les points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 de la circonférence extérieure, vont se réunir au centre de l'image presque dans un point unique.

1277. Ces deux derniers miroirs, le cylindrique (1267) et le conique (1273), ne sont d'aucune utilité; ils ne sont que curieux.

Des principes de la Dioptrique.

1278. La dioptrique est une science qui a pour objet les effets de la lumière réfractée; c'est-à-dire, que son objet est de considérer et d'expliquer les effets de la réfraction de la lumière, lorsqu'elle passe par différens milieux, tels que l'air, l'eau, le verre, etc. Or la réfraction de la lumière est une déviation que souffrent ses rayons, en passant obliquement d'un milieu dans un autre, d'une résistance différente.

1279. Cette réfraction ne s'observe que dans les milieux transparens. Il faut donc concevoir ces milieux, solides ou fluides, comme des masses dont les pores, alignés en toutes sortes de directions, ou sont pleins de la matière de la lumière, comme l'ont pensé *Descartes* et *Huyghens* (1179), ou peuvent la laisser passer en lignes droites, comme l'a cru *Newton* (1180). Si cette matière est animée d'un côté, elle transmet son mouvement au travers d'une surface à l'autre.

1280. Il y a deux conditions absolument essentielles pour que la lumière se réfracte; savoir, 1°. qu'elle passe d'un milieu dans un autre plus ou moins résistant; 2°. que sa direction soit oblique au plan qui sépare les deux milieux.

1281. La quantité de cette déviation des rayons de lumière, n'est pas la même pour tous les cas. Elle dépend, 1°. de la densité plus ou moins grande du nouveau milieu dans lequel passe le rayon de lumière;

plus cette densité est grande, toutes choses d'ailleurs égales, plus la réfraction est considérable.

1282. 2°. Elle dépend de la nature du corps réfringent : si c'est un corps gras ou un esprit ardent, la réfraction est plus considérable qu'elle ne le seroit, si elle se faisoit dans un corps d'une autre nature, quoiqu'il eût la même densité.

1283. 3°. Elle dépend du degré d'obliquité d'incidence, avec lequel le rayon tombe sur la surface du nouveau milieu. La réfraction augmente avec cette obliquité, et proportionnellement à elle.

1284. Si un rayon de lumière *p* C (*fig.* 203) passe de l'air dans l'eau, dans la direction *p* C, perpendiculaire au plan D *d* qui sépare l'eau de l'air, il continue sa route dans la direction C P, et ne souffre aucune réfraction, parce qu'il manque une des conditions absolument essentielles, qui est l'obliquité d'incidence (1280).

1285. Mais si le rayon A C passe obliquement de l'air dans l'eau, au lieu de continuer sa route en droite ligne dans la direction C B, il prend la direction C *a*, en s'approchant de la perpendiculaire *p* P au plan D *d* qui sépare les deux milieux ; de manière que son angle de réfration P C *a* est plus petit que son angle d'incidence *p* C A.

1286. Si l'incidence étoit plus oblique, la réfraction seroit plus considérable ; et elle est toujours proportionnelle à l'obliquité d'incidence (1285) ; de sorte que dans tous les cas où les milieux ne changent point, il y a un rapport constant entre l'angle de réfraction et celui d'incidence. Si donc, dans un degré d'obliquité déterminé, l'angle de réfraction est à

celui d'incidence comme 3 est à 4, dans un degré d'obliquité ou plus grand ou plus petit, ces deux angles seront dans le même rapport.

De ces résultats on peut déduire les loix générales suivantes.

1287. I. Loi. *Les rayons de lumière se réfractent toujours, lorsqu'ils passent obliquement d'un milieu dans un autre, d'une densité, ou en général d'une résistance différente*

1288. II. Loi. *Quand la lumière se réfracte en passant d'un milieu plus rare ou en général plus résistant, dans un plus dense ou en général moins résistant, l'angle de réfraction est plus petit que celui d'incidence*; et vice versâ.

1289. III. Loi. *Quelque grande ou quelque petite que soit la réfraction, les sinus des deux angles de réfraction et d'incidence demeurent toujours en rapport constant quand les milieux sont les mêmes.*

1290. Ce sont ordinairement les milieux les plus denses qui paroissent le moins résister à l'action de la lumière, et rendre l'angle de réfraction plus petit que celui d'incidence (1281); et, au contraire, ce sont les milieux les plus rares qui paroissent les plus résistans, à moins que ce ne soient des corps inflammables, tels que les huiles et les esprits ardens.

1291. *Descartes* et *Fermat* considérèrent la lumière comme un corps d'une grandeur sensible, et sur lequel les milieux agissent de la même manière qu'ils paroissent le faire sur les autres corps; et trouvant que les milieux que la lumière traverse, faisoient sur elle des effets contraires à ceux qui devoient résulter des principes mécaniques, ils imagi-

nèrent chacun une hypothèse pour accorder, dans ce cas, les lois de la mécanique dont on ne peut douter, et les effets physiques qui sont presque aussi certains.

1292. On sait que plus les milieux sont denses, plus ils résistent aux corps qui tendent à séparer leurs parties en les pénétrant (124) : or, dans ce cas, l'angle de réfraction est plus grand que l'angle d'incidence (119), parce que la vîtesse verticale du corps étant diminuée par la résistance du milieu, la vîtesse horizontale influe davantage dans la direction de la diagonale que le corps parcourt en obéissant à ces deux forces, dans lesquelles son mouvement se décompose (62).

1293. Or il arrive tout le contraire aux rayons de lumière : plus le milieu qu'ils traversent est dense, plus le sinus d'incidence surpasse celui de réfraction : donc la vîtesse verticale des rayons est augmentée dans ce cas; et il leur arrive alors tout le contraire de ce que les lois de la mécanique paroissent indiquer.

1294. *Descartes*, pour les accorder avec l'expérience qu'il ne pouvoit éluder, prétendoit que plus les milieux étoient denses, plus ils ouvroient un passage facile à la lumière. Mais c'étoit donner de ce phénomène une raison plus capable de le faire révoquer en doute que de l'expliquer.

1295. *Fermat* trouvant l'explication physique de *Descartes* impossible à admettre, aima mieux avoir recours à la métaphysique et aux causes finales. Il se retrancha donc à dire qu'il étoit convenable à la sagesse de l'auteur de la nature de faire aller la lu-

mière d'un point à un autre par le chemin du plus court temps, puisqu'elle n'y va pas par le chemin le plus court, qui seroit la ligne droite. Ce principe ne paroît pas meilleur que celui de *Descartes*.

1296. *Newton* a trouvé plus aisé de rendre raison de ce phénomène, en lui donnant pour cause l'attraction; car ce principe montre que le mouvement progressif de la lumière n'est pas seulement moins retardé dans le milieu le plus dense, comme le vouloit *Descartes*, mais qu'il est réellement accéléré, et cela par l'attraction du milieu plus dense, lorsqu'il le pénètre.

1297. Ce n'est pas seulement lorsque le rayon a atteint le milieu réfringent, et au point d'incidence, qu'il agit sur lui; l'incurvation du rayon commence un peu auparavant, et elle augmente à mesure qu'il approche du milieu réfringent, et même dans l'intérieur de ce milieu jusqu'à une certaine profondeur. Supposons que HI (*fig.* 204) termine les deux milieux N et *o*, dont le premier N soit le plus rare, par exemple, de l'air; le second *o* plus dense, savoir, du verre. L'attraction des milieux sera ici comme leurs densités. Supposons que PS soit le terme auquel la force attractive du milieu le plus dense *o* s'étende au-dedans du plus rare N, et que RF soit le terme auquel s'étend l'attraction du milieu plus rare N dans le milieu plus dense *o*.

1298. Soit maintenant un rayon de lumière A *a* qui tombe obliquement sur la surface qui sépare les milieux, ou plutôt sur la surface PS où commence l'action du second milieu *o* qui attire le plus. Toute attraction se faisant suivant des lignes perpendicu-

laires au corps attirant, dès que le rayon arrivera au point *a*, il commencera à être détourné de sa direction par une force supérieure qui l'attire davantage vers le milieu o que vers le milieu N, c'est-à-dire, par une force qui le poussera suivant une direction perpendiculaire à la surface H I : de là vient que le rayon s'écarte de la ligne droite à chaque point de son passage entre P S et R F, qui sont les limites au-dedans desquelles l'attraction agit. Il décrira donc une courbe *a* B *b* entre ces deux lignes. (Il faut supposer cette ligne courbe tracée, quoique nous ne l'ayions représentée que par deux lignes droites *a* B, B *b*, qui font un angle en B.) Mais étant parvenu au-delà de R F, il se trouvera hors de la sphère d'attraction du milieu N (1297); ce qui fait qu'il sera attiré également en tous sens par le milieu *o*, et, par conséquent, s'avancera en ligne droite vers C, suivant la direction de la tangente à la courbe *a* B *b*.

1299. Supposons de nouveau que N soit le milieu le *plus* dense, o le plus rare, et H I la ligne qui les termine. Soit R F la distance à laquelle le milieu le plus dense N étend sa force attractive dans le plus rare o : le rayon A *a* ayant passé le point *a*, sera, à la vérité, dans la sphère de l'attraction supérieure du milieu le plus rare *o*; mais comme cette attraction agit moins puissamment que celle du milieu le plus dense N, le rayon s'éloignera continuellement de son droit chemin A M, et s'approchera perpendiculairement vers P S : étant donc ainsi poussé par deux différentes forces, il aura un mouvement composé (168), par lequel, au lieu de *a* M, il décrira la courbe *a* B *m*.

1300. Il faut observer que l'attraction du milieu

le plus dense, de N, par exemple, diminue continuellement à mesure que le rayon avance de B vers la limite de l'attraction R F, à cause qu'il se trouve de plus en plus un moindre nombre de parties qui agissent; car plus le corps s'approche de R F, plus il s'éloigne du milieu supérieur N, et plus, par conséquent, l'attraction de ce milieu devient foible. C'est pour cela que le rayon décrit une courbe (168).

1301. Il faut remarquer que la distance entre P S et R F, limites de l'attraction, étant fort petite, on ne fait point attention, quand il est question de réfraction, à la partie courbe du rayon ; mais on la considère comme composée de deux lignes droites A B, B C, ou A B, B *m*.

1302. On voit donc comment l'attraction rend compte de tout ce qui arrive à la lumière dans son passage d'un milieu dans un autre; car (1298) le rayon augmente sa vîtesse verticale dans le milieu plus dense *o* qu'il traverse, jusqu'à ce qu'il soit parvenu au point *b*, où les parties supérieures et inférieures de ce corps agissent également sur lui. Alors il continue son chemin avec la vîtesse acquise, jusqu'à ce qu'étant prêt à en sortir, les parties supérieures de ce milieu l'attirent plus fortement que les parties inférieures : c'est ce qu'il est aisé de voir, en supposant, comme nous l'avons fait (1299), que N est le milieu le plus dense, et *o* le plus rare. Dans ce cas-là, la vîtesse verticale du rayon *a* B, qui est prêt à sortir du milieu N, est continuellement diminuée, et la courbe *a* B *m*, qu'il décrit à son émergence, est parfaitement égale et semblable à celle *a* B *b* que nous avons dit (1298) qu'il a décrit à son incidence, pourvu toutefois que l'on suppose paral-

lèles les surfaces qui terminent le milieu réfringent. Et cette courbe a B m est dans une position opposée à celle de la première a B b qu'il avoit décrite. Enfin le rayon, en sortant du milieu le plus dense, passe par des degrés de retardation qui sont dans le même rapport, et dans le même ordre, mais inverse, que les degrés d'accélération qu'il a eu en y entrant.

1303. *Newton*, qui étoit aussi supérieur dans l'art de faire des expériences, que dans celui de les employer, a trouvé, en examinant la déviation du rayon dans les différens milieux, que l'attraction exercée sur les particules de la lumière est en raison de la densité de ces milieux, si cependant l'on en excepte ceux qui sont gras et inflammables.

1304. On déduit aussi du principe de l'attraction la cause pour laquelle la réfraction se change en réflexion à une certaine obliquité d'incidence, lorsque le rayon va d'un milieu plus dense dans un moins dense; car dans le passage du rayon CB d'un milieu plus dense o dans un autre N qui l'est moins, la courbe b B a qu'il décrit (1298) est infléchie vers le milieu plus dense o d'où il sort. Or la proportion entre son obliquité et la force qui le rappelle vers le corps o, peut être telle qu'il arrive à la situation parallèle à la surface HI du milieu o qu'il abandonne, avant d'être sorti des limites P S dans lesquelles l'attraction de ce corps agit sur lui; et l'on voit qu'alors il doit retourner vers le milieu réfringent o d'où il sortoit, en décrivant une branche de courbe égale et semblable à celle b B, qu'il avoit décrite en sortant, et reprendre, par conséquent, après être rentré dans le milieu, la même inclinaison que celle qu'il y avoit avant d'en sortir.

1305. D'où il suit que plus les milieux contigus diffèrent en densité, moins il faut d'obliquité d'incidence pour que la réflexion commence; et c'est ce que prouve l'expérience; car le cas où les rayons se réfléchissent à la plus petite obliquité d'incidence, est celui où l'espace contigu au milieu réfringent est purgé d'air, et où le vide approche le plus du parfait. C'est aussi ce qui arrive dans la machine pneumatique, dans laquelle plus on augmente le vide, plus un rayon de lumière se réfléchit promptement.

1306. On sent aisément que, lorsque le rayon AB passe d'un milieu plus rare N dans un plus dense *o*, la réfraction ne peut jamais se changer en réflexion, quelle que soit l'obliquité d'incidence; car lorsque la lumière est prête d'abandonner le milieu moins dense N, l'autre *o*, qui lui est contigu, commence à agir sur elle, et augmente sa vîtese verticale (1296): ainsi elle ne peut jamais être détruite dans ce passage, puisqu'elle est, au contraire, perpétuellement augmentée. Le rayon de lumière ne peut donc jamais retourner vers le milieu moins dense N.

1307. L'explication que nous venons de donner (1296 *et suiv.*) quadre si bien avec les phénomènes, qu'il est du moins très-probable que l'attraction des milieux que la lumière traverse, est la cause de la réfraction de ses rayons; mais nous n'osons l'assurer, parce que l'attraction, comme telle, n'est pas assez clairement prouvée.

1308. Il est cependant vrai de dire qu'il y a une exception qui diminue un peu la valeur de cette explication. Suivant *Newton* (1303) et suivant l'expé-

rience, l'attraction des milieux sur la lumière est en raison directe de leurs densités : mais il n'est pas moins vrai, de l'aveu même de *Newton*, que les esprits ardens et les huiles, quoique moins denses que l'eau, attirent plus puissamment qu'elle les rayons de lumière. Ne pourroit-on pas dire que, comme les rayons de lumière agissent avec plus de force sur ces corps que sur les autres, pour les embraser; de même ces corps, par leur attraction, agissent avec plus de force sur les rayons de lumière pour les réfracter? Mais ce qui dérange encore plus notre explication, c'est que les pouvoirs réfractifs de chacun de ces corps inflammables; comparés ensemble, ne suivent point les rapports de leurs densités, comme je l'ai trouvé par expérience. (*Voyez Mémoires de l'Acad. des Sciences, an.* 1777, *pag.* 548). Car l'huile volatile de térébenthine, qui a une densité moindre que celle de l'huile volatile de lavande, et que celle des huiles fixes d'olives et d'amandes douces, a cependant un pouvoir réfringent plus grand. De même l'huile volatile de karabé a un pouvoir réfringent plus grand que celui de l'huile volatile de romarin, qui a plus de densité qu'elle.

1309. Il y a toujours plusieurs rayons de lumière qui agissent ensemble, pour tracer l'image d'un objet. Or ces rayons peuvent être différemment disposés relativement les uns aux autres : ils peuvent être ou parallèles entre eux, ou convergens, ou divergens, et les surfaces des milieux refringens peuvent être ou planes, ou convexes, ou concaves. Voici ce qui arrive dans ces différens cas, d'après le principe et les lois établis ci-dessus (1284 *et suiv.*)

1310. 1°. Supposons que la surface du milieu ré-

fringent soit plane, et que ce nouveau milieu, dans lequel passe la lumière, soit plus dense ou moins résistant (1290) que celui d'où la lumière sort.

1311. Les rayons parallèles, en se réfractant, conservent leur parallélisme, soit en entrant dans le milieu réfringent, soit en en sortant, pourvu que les deux surfaces du milieu réfringent soient elles-mêmes parallèles. Les deux rayons EA, EA (*fig.* 205) après s'être réfractés, en s'approchant des perpendiculaires *p*, *p*, se trouvent parallèles, comme ils l'étoient auparavant. Or cela doit être, suivant les principes établis ci-dessus; car le rayon AC (*fig.* 208), rencontrant la surface EF du milieu réfringent, ne doit pas continuer sa route dans la ligne droite C*b*; mais il doit souffrir une déviation au point de contact C, s'approcher de la perpendiculaire P *p*, et arriver en *a*.

1312. Ensuite sortant du milieu refringent, en supposant la surface GH, parallèle à EF, il doit aller en B, en s'écartant de la perpendiculaire P *p* autant qu'il s'en étoit rapproché dans sa première réfraction (1311), et se trouver ainsi parallèle à la direction C *b*, qu'il auroit conservé, sans la rencontre du milieu réfringent.

1313. Mais ce parallélisme ne peut passubsister, si les deux surfaces KL, HI (*fig.* 209) du milieu réfringent sont inclinées l'une à l'autre, parce que les deux réfractions, en entrant en *a* et en sortant en *b*, se font dans le même sens; et du point B on voit l'objet A en *e*, hors de son vrai lieu.

1314. Les rayons convergens deviennent moins convergens, en passant d'un milieu plus rare ou plus résistant

résistant dans un milieu plus dense ou moins résistant ; et au contraire, leur convergence augmente, en passant du milieu plus dense dans le plus rare. *Voyez la fig.* 206, où les rayons, qui devroient converger en E, vont converger plus loin, en entrant dans le milieu réfringent A D ; et au contraire, en sortant de B C, ils vont converger en F plus près qu'ils n'auroient fait sans cette réfraction. Cela doit encore être suivant nos principes. Car les deux rayons convergent *lg*, *fg*, (*fig.* 210) rencontrant la surface I H du milieu réfringent, ne continuent point leur route vers *i*, mais se réfractent en s'approchant de la perpendiculaire, et vont en *h*, *h* ; ce qui les rend moins convergens.

1315. Au contraire, en sortant de la surface L K, ils se réfractent en s'éloignant de la perpendiculaire, et vont converger en *k*, plus près qu'ils n'auroient fait sans cela.

1316. Les rayons divergens deviennent moins divergens, en passant d'un milieu plus rare dans un plus dense ; et, au contraire, leur divergence augmente en passant du milieu plus dense dans le plus rare. *Voyez la fig.* 207, où les rayons, qui, après s'être croisés, sont devenus divergens, diminuent de divergence en E en entrant par la surface A D du milieu réfringent, et en augmentent en sortant de ce milieu en B C. En effet, les rayons divergent *k h*, *k h* (*fig.* 210), rencontrant la surface L K du milieu réfringent, ne continuent point leur route vers G et G, mais se réfractent en s'approchant de la perpendiculaire, et vont en *g*, *g* ; ce qui les rend moits divergens.

1317. Au contraire, en sortant de la surface I H,

ils se réfractent en s'éloignant de la perpendiculaire, et vont vers *l* et *f*, ce qui les rend plus divergens.

1318. 2°. Supposons que la surface du milieu réfringent soit convexe, et que ce nouveau milieu, dans lequel passe la lumière, soit plus dense ou moins résistant (1290) que celui d'où sort la lumière; par exemple, que ce dernier soit de l'air, et que le milieu réfringent soit de l'eau.

1319. Les rayons parallèles deviennent convergens. *Voyez la fig.* 211 qui représente ce phénomène. Cela doit encore être, suivant nos principes. Car les rayons parallèles *h i*, *f g* (*fig.* 216), tombant obliquement sur le milieu réfringent terminé par la surface convexe *g* E *i*, et leurs obliquités étant en sens contraire l'une de l'autre, doivent, en se réfractant et s'approchant chacun de la perpendiculaire *i* C, ou *g* C, tendre à se réunir vers l'axe A B.

1320. Il faut de plus remarquer qu'ils se réunissent à l'axe A B d'autant plus près de la surface réfringente *g* E *i*, qu'ils tombent sur un point plus éloigné de l'axe; parce qu'alors leur incidence est plus oblique (1285). Aussi le rayon *h i* se réunit à l'axe en *k*; et le rayon *d e* ne s'y réunit qu'en D.

1321. Si les rayons sont déja convergens, lorsqu'ils arrivent à la surface réfringente convexe, ou ils tendent à converger précisément au centre de la convexité, ou leur point naturel de convergence se trouve plus près de la surface réfringente que le centre de sa courbure, ou ces rayons tendent à converger au-delà de ce même centre.

1322. Dans le premier cas, les rayons ne souf-

frent aucune déviation (*Voyez fig.* 212). Les rayons convergent en A, comme ils l'auroient fait sans l'interposition du corps réfringent; parce qu'il manque une condition essentielle pour la réfraction, qui est l'obliquité d'incidence (1280). Car les rayons *e f* et *d h* (*fig.* 217) tendant à converger en C, centre de la convexité, sont comme autant de prolongement des rayons de cette convexité.

1323. Dans le second cas, savoir, celui où les rayons tendent à converger plus près de la surface réfringente que le centre de sa courbure, les rayons deviennent moins convergens (*fig.* 213) : ils tendoient à converger en *b*; ils ne vont converger qu'en B. Car le rayon *i h* (*fig.* 217) tendant au point *k* de l'axe A B plus près de la surface réfringente *h b f* que le centre C, en s'approchant de la perpendiculaire *d* C, s'éloigne de cette surface, et va joindre l'axe vers *o*.

1324. Dans le troisième cas, savoir, celui ou les rayons tendent à converger au-delà du centre de la convexité du corps réfringent, les rayons deviennent plus convergens (*fig.* 214) : ils tendoient à converger en *c*, et ils convergent en C; car le rayon *g h* (*fig.* 217) tendant au point *l* de l'axe A B, plus éloigné de la surface réfringente *h b f* que ne l'est le centre C, en s'approchant de la perpendiculaire *d* C, se rapproche de cette surface, et va joindre l'axe en *p*, qui est le point où un autre rayon, venant de l'autre côté avec le même degré d'obliquité d'incidence, viendroit converger avec ce rayon *g h p*. C'est là le cas qui arrive le plus ordinairement.

1325. Si les rayons sont divergens en arrivant

à la surface réfringente, ils perdent pour le moins une partie de leur divergence (*Voyez fig.* 215) : cela peut aller jusqu'à les rendre parallèles ou même convergens. Les rayons divergens *a m*, *a l* (*fig.* 218), en arrivant à la surface réfringente *m b l*, ne vont point en lignes droites en *f* et en *e*, mais souffrent chacun une réfraction, qui, les approchant des perpendiculaires *c* C, *c* C, les fait aller vers *g* et *h*, et diminue leur divergence.

1326. Si en arrivant à la surface réfringente, les rayons étoient beaucoup moins divergens, tels que les rayons *d m* et *i l* (ce qui est le cas le plus ordinaire), leurs réfractions les rendroient convergens vers B.

1327. Supposons maintenant que les rayons de lumière passent du milieu dense dans un plus rare, et que ce milieu dense est encore terminé de ce côté-là par une surface convexe.

1328. Les rayons parallèles deviennent convergens. Car les rayons parallèles *d e*, *g i* (*fig.* 219), en arrivant à la surface convexe *e* D *i*, au lieu de continuer leur route en lignes droites vers *f* et *h*, vont, en s'éloignant des perpendiculaires *a* C, *b* C, converger en *k*.

1329. Les rayons convergens diviennent plus convergens. Soient les rayons *l e*, *n i*, qui, sans le changement de milieu, iroient vers *m* et *o*, et de là se réunir à une assez grande distance; ils vont, moyennant la réfraction qu'ils souffrent en s'éloignant des perpendiculaires *a* C, *b* C, se réunir vers *p*.

1330. Si les rayons sont divergens; ou leur point naturel de divergence part du centre C de la con-

vexité *e* D *i*; ou il part d'un point, comme *r*, plus près de cette convexité que le centre C de sa courbure; où il part d'un point comme *q*, qui en est plus éloigné.

1331. Dans le premier cas, les rayons C *a*, C *b*, ne souffrent aucune réfraction; parce qu'étant des rayons mêmes de la convexité *e* D *i*, il n'y a point d'obliquité d'incidence.

1332. Dans le second cas, les rayons *r e*, *r i*, partant du point *r*, ne vont ni vers *s*, ni vers *t*; mais en s'éloignant des perpendiculaires *a*C, *b*C, ils se portent vers *x* et *y*, et deviennent par-là plus divergens qu'ils ne l'étoient.

1333. Dans le troisième cas, les rayons divergens *q e*, *q i*, deviennent moins divergens; car, au lieu d'aller vers *z* et *z*, ils se resserrent vers *f* et *h* en s'éloignant des perpendiculaires *a* C, *b* C. Ils peuvent devenir paralleles, ou même convergens, suivant le plus ou le moins de divergence qu'ils ont, lorsqu'ils arrivent à la surface *e* D *i*.

1334. 3°. Supposons que la surface du milieu réfringent soit concave, et que ce nouveau milieu, dans lequel passe la lumière, soit plus dense que celui d'où la lumière sort : que ce soit encore de l'air et de l'eau.

1335. Les rayons parallèles deviennent divergens (*fig.* 220); car les rayons parallèles *a b* et *d e* (*fig.* 224), arrivant à la surface réfringente concave *e h b*, se réfractent en s'approchant des perpendiculaires *f* C, *g* C; ce qui les rend divergens.

1336. Si les rayons sont convergens, lorsqu'ils arrivent à la surface réfringente concave, ils per-

dent, pour le moins, une partie de leur convergence (*fig.* 221); et cela peut aller jusqu'à les rendre parallèles ou même divergens; car les rayons *a b* et *d e* (*fig.* 225), qui tendent à converger en O, deviennent moins convergens en se réfractant et s'approchant des perpendiculaires *f* C et *g* C; et ne se réunissent qu'en *i*. S'ils étoient moins convergens, la réfraction pourroit les rendre parallèles ou même divergens.

1337. Si les rayons sont divergens, lorsqu'ils arrivent à la surface réfringente concave, ou leur point de divergence se trouve précisément au centre de la concavité, ou il se trouve plus près de la surface réfringente que n'en est le centre, ou il s'en trouve plus éloigné.

1338. Dans le premier cas, les rayons ne souffrent aucune déviation; car ils n'ont point d'obliquité d'incidence, puisque les rayons C *b* et C *e* (*fig.* 226) sont des rayons de cette concavité; ils continuent donc leur route en F et en *g*, comme ils l'auroient fait sans l'interposition du milieu réfringent.

1339. Dans le second cas, les rayons deviennent moins divergens (*fig.* 222). Car les deux rayons divergens *k b* et *k e* (*fig.* 226), au lieu d'aller en *d* et *h*, se rendent vers *a* et *c*, en s'approchant des perpendiculaires *f* C et *g* C.

1340. Dans le troisième cas, et c'est le plus ordinaire, les rayons deviennent plus divergens (*fig.* 223); car les rayons *l b* et *l e* (*fig.* 226) tendans en *m* et en *n*, se rendent en *i* et en *o* par la réfraction qu'ils souffrent en s'approchant des perpendiculaires *f* C

et *g* C, et deviennent par-là plus divergens qu'ils ne l'étoient.

1341. Supposons maintenant que les rayons de lumière passent du milieu dense dans un plus rare, et que ce milieu dense est encore terminé de ce côté-là par une surface concave.

1342. Les rayons parallèles deviennent divergens. Car les rayons parallèles *d e*, *g i*, (*fig.* 227), en arrivant à la surface concave *e* D *i*, au lieu de continuer leur route en lignes droites vers *f* et *h*, se portent vers *m* et *p*, en s'éloignant des perpendiculaires C *a*, C *b*, ce qui les rend divergens.

1343. Si les rayons sont convergens, ou leur point de convergence tend précisément au centre C de la concavité *e* D *i*; ou il tend à un point, comme *n*, plus près de cette concavité que n'en est le centre C de sa courbure; ou il tend à un point, comme *l*, qui en est plus éloigné.

1344. Dans le premier cas, les rayons *a e*, *b i*, ne souffrent aucune réfraction, parce qu'étant des prolongemens des rayons C *e*, C *i* de la concavité *e* D *i*, il n'y a point d'obliquité d'incidence.

1345. Dans le second cas, les rayons *q e*, *r i*, tendant à converger au point *n*, plus près de la surface concave *e* D *i* que n'est son centre C, vont, en s'éloignant des perpendiculaires C *e*, C *i*, se réunir vers *o*; ce qui les rend plus convergens qu'ils ne l'étoient.

1346. Dans le troisième cas, les rayons deviennent au contraire moins convergens. Car les rayons *s e*, *t i*, qui tendent naturellement à converger au point *l*, au-delà du centre C de la concavité *e* D *i*, vont, en s'éloignant des perpendiculaires C *e*, C *i*, se réunir

en k, plus loin qu'ils ne l'auroient fait sans leur réfraction. S'ils étoient peu convergens, en arrivant à la surface concave e D i, la réfraction pourroit les rendre parallèles ou même divergens.

1347. Les rayons divergens, en arrivant à la surface concave e D i, deviennent plus divergens. Soient les rayons E e, E i, divergens du point E, qui, sans le changement de milieu, iroient vers u et x; ils se portent, moyennant la réfraction qu'ils souffrent, en s'éloignant des perpendiculaires C e, C i, vers y et z; ce qui les rend plus divergens.

1348. Le rapport du sinus de l'angle d'incidence au sinus de l'angle de réfraction est constant, quand les milieux sont les mêmes (1286). Si la réfraction se fait de l'air dans le verre, ce rapport paroît plus grand que 114 à 76, mais moindre que 115 à 76, c'est-à-dire, à très-peu de chose près, comme 3 à 2. Il y a, à la vérité, quelque différence dans la quantité de réfraction, selon les différentes espèces de verre; mais une très-grande précision n'est point abolument nécessaire.

1349. Si la réfraction se fait de l'air dans l'eau de pluie ou distillée, *Descartes* a trouvé que le rapport du sinus de l'angle d'incidence au sinus de l'angle de réfraction est comme 250 à 187, c'est-à-dire, à très-peu près, comme 4 à 3. *Newton* l'a fait comme 529 à 376; ce qui est à-per-prè la même chose.

1350. Puisque le rapport du sinus de l'angle d'incidence au sinus de l'angle de réfraction est, de l'air dans le verre, comme 3 à 2 (1348), et de l'air dans l'eau, comme 4 à 3 : si la réfraction se fait d'une manière contraire, savoir, du verre ou de l'eau dans

l'air, ce rapport sera, dans le premier cas, comme 2 à 3, et dans le second, comme 3 à 4.

1351. Un rayon de lumière qui tombe sur une surface courbe, soit convexe ou concave, se réfracte de la même manière que s'il tomboit sur un plan tangent à la courbe au point d'incidence. Car la courbe et la surface plane qui la touche, ont une portion infiniment petite commune entr'elles. Donc, quand un rayon de lumière se réfracte dans cette petite partie, c'est la même chose que s'il souffroit une réfraction dans le plan tangent.

1352. D'après ce que nous venons de dire (1309 *et suiv.*), il est aisé de rendre raison des apparences des objets vus au travers de différens milieux. Puisque des rayons divergens E *c*, E *d* (*fig.* 210) augmentent de divergence en passans d'un milieu dense dans un plus rare, terminés par une surface plane (1317), il s'ensuit qu'ils ont leur point fictif *e* de réunion plus près que le réel E. Donc, si l'œil est placé dans le milieu rare, les objets placés dans le milieu dense lui paroîtront plus près qu'ils ne le sont. De là vient que le fond d'un bassin plein d'eau paroît élevé; et c'est ce qui fait que les poissons et autres objets qui sont plongés dans l'eau, nous paroissent plus près de la surface qu'ils ne le sont en effet. Et si l'objet est un peu grand, ses extrémités paroissent plus rapprochées, ce qui le fait paroître courbe.

1353. Et comme les rayons convergens *g h*, *g h*, augmentent de convergence, en passant d'un milieu dense dans un plus rare terminé par une surface plane (1315), il s'ensuit qu'ils se réunissent plus près comme en *k*, et qu'ils font voir l'objet *g g* sous un

angle G *k* G plus ouvert, et le font, par conséquent, juger plus grand. Aussi juge-t-on les poissons, les pierres, les plantes, etc. plus grands dans l'eau que dans l'air.

1354. Mais comme le contraire arrive lorsque les rayons passent d'un milieu rare dans un plus dense, comme, en pareil cas, les rayons divergens deviennent moins divergens (1316), et les convergens moins convergens (1314), il s'ensuit que les objets placés dans le milieu rare doivent paroître à l'œil, placé dans le milieu dense, et plus éloignés et plus petits qu'ils ne le sont. C'est ainsi que les poissons, qui sont plongés dans l'eau, voient les objets placés dans l'air.

Des Lentilles.

1355. Les verres convexes ou les lentilles, c'est-à-dire, les corps transparens travaillés des deux côtés en forme de sphère, ou, ce qui est la même chose, terminés de part et d'autre par une surface sphérique convexe, ont la propriété de réunir les rayons du lumière qui les traversent; c'est-à-dire, qu'ils rendent convergens les rayons parallèles (1319 et 1328), qu'ils augmentent la convergence des rayons déjà convergens (1324 et 1329), et que, pour le moins, ils diminuent la divergence des rayons divergens; et cela peut aller jusqu'à les rendre parallèles ou même convergens (1325 et 1355). De sorte qu'après avoir souffert les deux réfractions, l'une en entrant, l'autre en sortant du verre convexe, les rayons de toutes les espèces, soit parallèles, soit convergens, soit divergens, se réunissent en formant des angles plus ouverts, et font, par conséquent, voir les images des

objets plus grandes (1208) que les objets mêmes. Les rayons parallèles *b d*, *b e* (*fig.* 228), qui, sans les réfractions, ne se réuniroient jamais, en traversant la lentille *d e*, se réunissent en *f*, foyer des rayons parallèles. Les rayons convergens A *d*, *a e*, qui, sans les réfractions, n'iroient se réunir qu'en *g*, en traversant la lentille, se réunissent en *h* en formant un angle plus ouvert. Les rayons divergens *c d*, *c e*, qui, sans les réfractions, iroient toujours en s'écartant, en traversant la lentille, vont se réunir en *g*. La portion *c c* de l'objet paroît donc sous l'angle A*ga*, et, par conséquent, de la grandeur A *a*, etc.

1356. L'image de l'objet paroît derrière la lentille, dans un endroit plus éloigné que celui où l'objet est placé. Cela vient de ce que les rayons de chaque faisceau, partant de chaque point de l'objet (1190), deviennent, par les réfractions, moins divergens (1325), et ont par-là leur point fictif de réunion plus éloigné. Le point F (*fig.* 229), vu au travers de la lentille *m n*, paroît donc en *f*.

1357. Mais pour que l'image de l'objet soit vue derrière la lentille, il faut que l'objet soit placé plus près de la lentille que le foyer *f* (*fig.* 228) des rayons parallèles; car si l'objet étoit en *l* (*fig.* 229), plus loin que le foyer des rayons parallèles, les rayons de chaque faisceau, en arrivant à la surface *m* de la lentille, étant trop peu divergens, deviendroient, en la traversant, parallèles ou même convergens (1326), et n'auroient pas de point fictif de réunion : on ne verroit donc pas l'image derrière la lentille.

1358. Mais si ces rayons deviennent convergens,

cette image ne peut se faire voir en-deçà de la lentille, entre la lentille et l'œil. Supposons C (*fig.* 230) le foyer des rayons parallèles de la lentille *m n*, et un objet placé au-delà en A B : les faisceaux de rayons A *n*, B *m*, partant de chaque point, étant trop peu divergens en arrivant à la lentille, deviennent convergens en la traversant ; et vont tracer en *a b* une image renversée, qui peut être apperçue par un œil placé en D, c'est-à-dire, au point où les rayons, après avoir tracé l'image en se croisant, ont repris le degré de divergence convenable, et où tous les faisceaux, venant de chaque point, peuvent converger au même œil.

1359. Cette image est nécessairement renversée, parce qu'il n'y a que des faisceaux de rayons qui se soient croisés entre l'objet et la lentille, qui puissent ensuite converger au même œil.

1360. C'est cette propriété des lentilles, de former au-devant d'elles des images des objets éloignés, qui est le principe sur lequel est fondée la construction des télescopes dioptriques, comme nous le verrons ci-après (1574) : car, dans un tel télescope, ce sont ces images, et non pas les corps, qui sont l'objet immédiat de la vision.

1361. Les lentilles font entrer dans l'œil des rayons qui n'y entreroient pas sans elles, parce qu'elles rendent la lumière moins divergente (1355). Par cette raison, ces verres nous font voir les objets avec plus de clarté : mais, d'un autre côté, il y a beaucoup de rayons réfléchis ou éparpillés en entrant, en sortant, et dans l'épaisseur du verre : ce qui diminue

quelquefois plus la clarté, que la réunion des rayons ne l'augmente.

1362. Ce qu'on regarde au travers d'une lentille, paroît souvent difforme. C'est ce qui arrive sur-tout quand l'objet est grand, et la lentille fort convexe; car alors les effets de la réfraction ne sont pas égaux pour tous les points, à cause de la différence d'obliquité d'incidence pour chaque rayon (1283), qui naît de la courbure de la surface; et parce que les différens points de l'objet étant placés à différentes distances de cette surface (1251), les rayons qui en partent y arrivent avec différens degrés de divergence, ceux qui partent de plus loin étant moins divergens (1188). Les mêmes causes peuvent faire voir confusément certaines parties de l'objet, tandis que d'autres se voient distinctement. Cela s'apperçoit surtout aux extrémités de l'image, quand les lentilles sont d'un foyer fort court, parce que les réfractions des bords de la lentille ne concourent pas avec celles du milieu.

1363. Aussi la courbure sphérique que l'on donne à toutes les lentilles, n'est-elle pas la plus propre à faire converger les rayons dans le plus petit espace. Si l'on présente un plan à l'endroit où les rayons se croisent, on observe qu'ils forment là un petit cercle, qui a d'autant plus de largeur que la surface sphérique qui reçoit les rayons incidens, est ellemême plus large; et c'est ce qu'on appelle *aberration de sphéricité :* la courbure parabolique ou hyperbolique seroit plus propre à réunir les rayons; mais elle seroit trop difficile à obtenir de l'adresse des ouvriers : encore avec elle ne réussiroit-on pas, puisque tous les rayons de lumière ne sont pas également

réfrangibles, comme nous le verrons dans la suite (1395, 1424).

1364. Puisque les rayons qui passent par les bords de la lentille, ne concourent pas avec ceux qui passent vers l'axe (1362), on fait en sorte de ne pas avoir affaire à tous à la fois, à moins que la lentille ne soit achromatique (1647); on couvre donc ordinairement les bords de la lentille, parce que ce sont les rayons qui passent vers son axe, qui forment l'image la plus nette et la mieux terminée. Il y a donc une grande différence entre les effets des lentilles, relativement à l'optique, où l'on choisit les rayons qui passent vers l'axe, et leurs effets relativement au pouvoir d'embraser les corps; auquel cas ce sont les rayons des bords qui produisent le plus d'effet (1122), et qu'il faut chercher à se procurer.

Des verres concaves.

1365. Les verres concaves, c'est-à-dire, ceux qui sont terminés de part et d'autre par une surface sphérique concave, ont la propriété de disperser les rayons de lumière qui les traversent; c'est-à-dire, qu'ils rendent divergens les rayons parallèles (1335 et 1342); qu'ils augmentent la divergence des rayons déjà divergens (1340 et 1347), et qu'ils diminuent, pour le moins, la convergence des rayons convergens; et cela peut aller jusqu'à les rendre parallèles ou même divergens (1336 et 1346) : et cela arrive dans tous les cas, après qu'ils ont souffert les deux réfractions, l'une en entrant, et l'autre en sortant du verre concave. Aussi ces verres produisent-ils trois effets remarquables.

1366. 1°. Ils font voir les objets plus petits qu'ils

ne sont : car les rayons A d, B e, (*fig.* 231), partant des extrémités de l'objet A B, et qui, sans l'interposition du verre concave C G H E, iroient se réunir en D, ne vont, après les deux réfractions qu'ils souffrent en traversant le verre, se réunir qu'en F ; et font, par conséquent, voir l'objet A B sous l'angle a F b, plus petit que l'angle A F B, sous lequel l'objet seroit vu, s'il n'y avoit point de verre. Il est vrai qu'il y a des cas où, après la première réfraction en d et en e, ils peuvent conserver un degré de convergence qui tende à les réunir plus près du verre que le centre de la concavité G I H (1345); alors la seconde réfraction se feroit en sens contraire de la première, et tendroit à les rendre plus convergens (1345) : mais comme l'incidence des rayons en f et en g ne peut jamais être aussi oblique qu'en d et en e, la seconde réfraction est nécessairement plus foible que la première, et, par conséquent, incapable de la compenser. D'où il suit que, dans tous les cas, l'image doit paroître plus petite que ne l'est l'objet.

1367. 2°. Ils font voir l'objet plus près qu'à la vue simple. Nous jugeons la distance d'un objet A (*fig.* 232) au point de réunion, vrai ou fictif, des rayons divergens qui composent les faisceaux venant de chaque point de l'objet (1191) : mais ces rayons divergens deviennent plus divergens en traversant le verre concave (1340 et 1347); leur point de réunion fictif est donc plus près, comme en a. Si les rayons, dans leur incidence sur le verre concave, conservent leur divergence (1338), parce que leur point de divergence est au centre de la concavité, ou en perdent une partie (1339), comme le font les

rayons B*b*, B*c* (*fig.* 253), la réfaction qu'ils souffrent en *d* et en *f* en sortant de ce verre (1347), se faisant en sens contraire de la première, et étant plus grande à cause de la plus grande obliquité d'incidence (1283), fait plus que compenser cette perte, et les rend plus divergens qu'ils ne l'étoient : l'image est donc vue en *k*, et par conséquent rapprochée.

1368. 5°. Ils font voir l'objet avec moins de clarté, parce que la divergence de la lumière est augmentée (1365). Il n'en entre donc pas dans la prunelle autant qu'il en entreroit sans cela. Tous ces verres ont un foyer virtuel, qui, si le verre est concave des deux côtés, se trouve à une distance du verre égale à la moitié des deux rayons des deux concavités, pris ensemble. Mais si le verre n'est concave que d'un côté et plan de l'autre, son foyer virtuel est à une distance égale au diamètre de sa concavité.

Des couleurs.

1369. Les couleurs sont des propriété des différentes parties de la lumière séparées les unes des autres par réfraction, réflexion ou autrement, par lesquelles elles excitent en nous différentes sensations suivant la différence de leur degré de réfrangibilité, et suivant la grandeur, la figure, et peut-être le degré de vîtesse du mouvement de leurs particules, lorsqu'elles viennent faire leur impression sur l'organe destiné à nous les faire appercevoir.

1370. Il y a de grandes différences d'opinions sur les couleurs entre les anciens et les modernes, et même entre les différentes sectes des physiciens actuels. Suivant l'opinion d'*Aristote*, qui étoit celle qu'on

qu'on suivoit autrefois, on regardoit la couleur comme une qualité résidante dans les corps colorés, et indépendante de la lumière; ce qui ne peut pas être, comme nous l'allons voir.

1371. Les Cartésiens n'ayant pas été satisfaits de cette opinion, ont dit que, puisque le corps coloré n'étoit pas appliqué immédiatement à l'organe de la vue pour produire la sensation de la couleur, et qu'aucun corps ne sauroit agir sur nos sens que par un contact immédiat, il falloit donc que les corps colorés ne contribuassent à la sensation de la couleur que par le moyen de quelque milieu, lequel étant mis en mouvement par leur action, transmettoit cette action jusqu'à l'organe de la vue. Ils ont ajouté que, puisque les corps n'affectent point l'organe de la vue dans l'obscurité, il faut que le sentiment de la couleur soit seulement occasionné par la lumière, qui met l'organe en mouvement; et que les corps colorés ne doivent être considérés que comme des corps qui réfléchissent la lumière avec certaines modifications; la différence des couleurs venant de la différente texture des parties du corps, qui les rend propres à donner telle ou telle modification à la lumière, ainsi que de la différence du mouvement des particules mêmes de la lumière.

1372. Mais c'est sur-tout à *Newton* que nous devons la vraie théorie des couleurs, celle qui est fondée sur des expériences sûres, et qui donne l'explication de tous les phénomènes. Voici en quoi consiste cette théorie.

Théorie des Couleurs.

1373. L'expérience fait juger que les rayons de lumière sont composés de particules dont les masses sont différentes entr'elles : du moins quelques-unes de ces particules ont, comme on ne sauroit guère en douter, plus de grosseur et plus de force que les autres, et par-là sont plus capables de conserver leur vîtesse, et d'être, en conséquence, moins détournées de leur direction naturelle; car lorsqu'on reçoit dans une chambre obscure un rayon de lumière S (*fig.* 254) sur un corps réfringent D, ce rayon ne se réfracte pas tout entier en un point M, mais il se divise et se répand, pour ainsi dire, en plusieurs autres rayons, dont les uns sont réfractés jusqu'en M, et les autres depuis M jusqu'en N : en sorte que les particules qui ont le moins de force, sont celles que l'action du corps réfringent D détourne le plus de leur chemin rectiligne *o* I pour aller vers M; et que les autres, à mesure qu'elles ont plus de force, se détournent moins, et passent plus près de N, en s'éloignant moins de leur direction naturelle *o* I.

1374. De plus, les rayons de lumière qui diffèrent le plus en réfrangibilité les uns des autres, sont aussi ceux qui diffèrent le plus en couleur : c'est une vérité reconnue par une infinité d'expériences. Les particules les plus réfractées, par exemple, sont celles qui forment les rayons violets, et cela, selon toute apparence, à cause que ces particules ayant le moins de force, sont aussi celles qui ébranlent le moins l'organe de la vue, y excitent les moindres vibrations, et nous affectent, par conséquent, de la sensation de couleur la moins forte et la moins vive, telle

qu'est le violet. Au contraire, les particules qui se réfractent le moins constituent les rayons de la couleur rouge, parce que ces particules ayant le plus de force, frappent l'organe avec le plus d'énergie, excitent les vibrations les plus sensibles, et nous affectent de la sensation de la couleur la plus vive, telle qu'est la couleur rouge.

1375. Les autres particules étant séparées de la même manière, et agissant suivant leurs forces respectives, produiront, par les différentes vibrations qu'elles exciteront, les différentes sensations des couleurs intermédiaires, ainsi que les particules de l'air excitent, suivant leurs différentes vibrations respectives, les différentes sensations des sons (1024).

1376. Les couleurs des rayons, ainsi séparées, ne doivent pas être regardées comme de simples modifications accidentelles de ces parties de rayons, mais comme des propriétés qui leur sont nécessairement attachées, et qui consistent, suivant toutes les apparences, dans la masse, la grandeur, et, par conséquent, la force de leurs particules. Elles doivent donc être immuables et inséparables de ces rayons; c'est-à-dire, que ces couleurs ne sauroient s'altérer par aucune réfraction ou réflexion. Or c'est ce que l'expérience confirme d'une manière sensible; car, quelque effort qu'on ait fait pour séparer, par de nouvelles réfractions, un rayon coloré et homogène quelconque, donné par le prisme, on n'a pas pu y réussir.

1377. Il est vrai qu'on fait quelquefois des décompositions apparentes de couleurs; mais ce ne sont que des couleurs qu'on a formées en réunissant des rayons de différentes couleurs; et il n'est pas étonnant alors

que la réfraction fasse retrouver les rayons qu'on avoit employé pour former cette couleur.

1378. On peut donc dire qu'il y a deux sortes de couleurs; les unes primitives, homogènes et simples, produites par la lumière homogène, ou par les rayons qui ont le même degré de réfrangibilité, et qui sont composées de parties de même masse et de même force; telles sont le *rouge*, l'*orangé*, le *jaune*, le *vert*, le *bleu*, *l'indigo*, le *violet*, et toutes leurs nuances; les autres, secondaires, hétérogènes, composées des premières, ou du mélange de rayons de différentes réfrangibilités.

1379. On peut produire, par la voie de la composition, des couleurs secondaires semblables aux couleurs primitives quant au ton ou à la nuance de la couleur, mais non par rapport à la permanence ou à l'immutabilité. On forme de cette manière de l'orangé avec du rouge et du jaune, du vert avec du jaune et du bleu, de l'indigo avec du bleu et du violet, et en général avec deux couleurs qui ne soient pas éloignées l'une de l'autre. Mais plus une couleur est composée, moins elle est vive et parfaite; et en la composant de plus en plus, on parvient à l'éteindre entièrement.

1380. Par le moyen de la composition, on peut parvenir aussi à former des couleurs qui ne ressemblent à aucunes de celles de la lumière homogène. Mais l'effet le plus singulier que peut donner la composition avec les couleurs primitives, c'est de produire le blanc ou le brillant de la lumière solaire: il se forme en employant, à un certain degré, des rayons de toutes les couleurs primitives. C'est ce qui

fait que la couleur ordinaire de la lumière est le blanc, à cause qu'elle n'est autre chose que l'assemblage des rayons de toutes les couleurs mêlées et fondues ensemble.

1381. Les rayons du soleil traversant un prisme triangulaire D (*fig.* 234), donnent sur la muraille opposée une image de différentes couleurs M N; qui sont le rouge, l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo et le violet. La raison en est, que les rayons, différemment colorés, sont séparés les uns des autres par la réfraction (1373).

1382. L'image colorée n'est pas ronde, mais oblongue et arrondie aux deux extrémités, sa longueur égalant environ cinq fois la largeur, lorsque l'angle du prisme est d'environ 60 ou 65 degrés. La raison en est, que cette image est formée par toutes les images circulaires que donne chaque espèce différente de rayons, et qui anticipent les unes sur les autres, suivant la force de la réfrangibilité de ces rayons.

1383. Les rayons qui donnent le jaune, sont plus détournés de leur chemin rectiligne que ceux qui donnent le rouge; ceux qui donnent le vert, plus que ceux qui donnent le jaune, et ainsi de suite, jusqu'à ceux qui donnent le violet qui sont les plus détournés de tous.

1384. En conséquence de ce principe, si l'on fait tourner autour de son axe le prisme sur lequel tombent les rayons solaires, de manière que le rouge, l'orangé, le jaune, etc. tombent successivement sur un autre prisme fixe, placé à une certaine distance du premier, comme, par exemple, 4 mètres (environ 12 pieds); et que les rayons de ces différentes couleurs

aient auparavant passé, l'un après l'autre, par une ouverture placée entre les deux prismes; les rayons rompus que fourniront ces différens rayons, ne se projeteront pas tous à la même place, mais les uns au-dessus des autres, si l'angle réfringent est en-bas; parce qu'étant plus réfrangibles les uns que les autres, ils sont plus rompus par le second prisme, comme ils l'ont été par le premier.

1385. Cette expérience simple, et néanmoins décisive, est celle par laquelle *Newton* leva toutes les difficultés dans lesquelles les premières l'avoient jeté, et qui l'a entièrement convaincu de la correspondance qui est entre la couleur et la réfrangibilité des rayons de lumière.

1386. Les couleurs des rayons séparés par le prisme, ne sauroient changer de nature ni se détruire; quoique ces rayons passent par un milieu éclairé, qu'ils se croissent les uns les autres (1206), qu'ils se trouvent voisins d'une ombre épaisse, qu'ils soient réfléchis ou rompus d'une manière quelconque; d'où l'on voit que les couleurs ne sont pas des modifications dues à la réfraction ou à la réflexion, mais des propriétés immuables et attachées à la nature des rayons.

1387. Si, par le moyen d'un verre lenticulaire ou d'un miroir concave, on vient à réunir tous les différens rayons colorés que donne le prisme, on forme le blanc. Cependant ces mêmes rayons qui, tous rassemblés, ont formé le blanc, donnent, après le point de leur réunion, c'est-à-dire, au-delà du point où ils se croisent, les mêmes couleurs que celles qu'ils donnoient en sortant du prisme, mais dans un ordre renversé, à cause du croisement des rayons. La raison

en est claire; car le rayon étant blanc avant d'être divisé par le moyen du prisme, doit l'être encore par la réunion de ses parties, que la différence de réfrangibilité avoit écartées les unes des autres; et cette réunion ne peut, en aucune manière, tendre à détruire ou à altérer la nature des couleurs; elles doivent donc reparoître après le point de croisement.

1388. De même si on mêle, dans une certaine proportion, de la couleur rouge avec de l'orangé, du jaune, du vert, du bleu, de l'indigo et du violet, on formera une couleur composée, qui sera blanchâtre (c'est-à-dire, à-peu-près semblable à celle qu'on forme en mêlant un peu de noir avec du blanc), et qui seroit entièrement blanche, s'il ne se perdoit et ne s'absorboit pas quelques portions de ces couleurs.

1389. On forme encore une couleur approchante du blanc, en teignant un rond de carton de ces différentes couleurs, et en le faisant tourner assez rapidement pour qu'on ne puisse distinguer aucune des couleurs en particulier.

1390. Si à un rayon solaire divisé par le prisme (1381), et qui forme alors une image colorée oblongue (1382), on présente un verre épais teint d'une des couleurs primitives et un peu foncée, par exemple, un verre rouge, il ne passera au travers de ce verre que de la couleur rouge, qui formera une image ronde.

1391. Si l'on applique l'un sur l'autre deux verres épais et colorés, l'un en rouge et l'autre en vert, ils produiront une opacité parfaite, quoique chacun d'eux, pris séparément, soit transparent; parce que l'un d'eux ne laissant passer que les rayons rouges, et l'autre que les rayons verts, il n'en peut arriver

aucun à l'œil, lorsque ces deux verres sont réunis; car le premier ne laissant passer, par exemple, que des rouges, le second n'en reçoit point de verts, qui sont les seuls qu'il puisse transmettre.

1392. Si l'on fait tomber fort obliquement les rayons du soleil sur la surface intérieure d'un prisme, les rayons violets se réfléchiront, et les rouges, etc. seront transmis : si l'on augmente l'obliquité d'incidence, les bleus seront aussi refléchis, et les autres transmis; ce qui vient de ce que les rayons qui ont le plus de réfrangibilité, sont aussi ceux qui se réfléchissent le plus facilement.

1393. Si deux prismes sont placés de manière que le rouge de l'une des images et le jaune de l'autre tombent sur une même partie d'un plan, l'image paroîtra orangée : si l'on fait tomber sur le même point le jaune de l'une et le bleu de l'autre, l'image paroîtra verte, etc. Mais si l'on regarde ces images au travers d'un troisième prisme, la réfraction en séparera en partie les couleurs; de manière que la première sera rouge à une extrémité, jaune à l'autre, et orangée au milieu : la seconde sera jaune à une extrémité, bleue à l'autre, et verte au milieu; ce qui vient de ce que les deux couleurs, dont chaque image est composée, ont des degrés différens de réfrangibilité (1377.).

1394. Tous les corps, mais principalement ceux qui sont blancs, étant regardés au travers d'un prisme, paroissent comme bordés, parallèlement à la longueur du prisme, d'un côté de rouge et de jaune, et de l'autre de bleu et de violet. Ces bordures sont les extrémités d'autant d'images de l'objet,

qu'il y a de différentes couleurs dans la lumière, et qui ne tombent pas toutes dans le même lieu, à cause des différenses réfrangibilités des rayons.

1395. Lorsque les rayons qui traversent une lentille convexe (1319 et 1329) sont reçus sur un plan avant qu'ils soient réunis au foyer, les bords de la lumière paroissent rougeâtres, mais si l'on y reçoit ces rayons après leur réunion, les bords paroissent bleuâtres; car les rayons rouges étant moins réfractés (1383), doivent se réunir le plus loin, et, par conséquent, être le plus près des bords, lorsqu'on place le plan avant le foyer; au lieu qu'après le foyer, ce sont, au contraire, les rayons bleus, réunis les premiers, qui doivent alors renfermer les autres, et être vers les bords (1425).

1396. L'étendue proportionnelle des sept intervalles qui contiennent les sept couleurs de l'image (1381) répond à-peu-près à l'étendue proportionnelle des *sept tons* de la musique : c'est un phénomène *singulier*; mais il faut bien se donner de garde d'en *conclure* qu'il y ait aucune analogie entre les sensations des couleurs et celles des tons. Car, non-seulement cette proportion n'est pas exacte, mais de plus elle est différente, suivant les différences qui se trouvent dans la nature et la densité des verres dont les prismes sont faits.

Cette théorie de *Newton* sur les couleurs est fondée sur une belle suite d'expériences qu'il a faites, et dont voici les principales.

Expériences sur lesquelles est fondée la Théorie des Couleurs.

1397. Si, par le moyen d'un tuyau T (*fig.* 234), placé au volet d'une fenêtre, on fait entrer dans une chambre obscure un rayon solaire S I, il va former, sur la muraille opposée, ou sur un plan blanc qu'on lui présente, une image circulaire I simplement lumineuse, et qui n'a pas plus de couleur que la lumière du soleil.

1398. Mais si à ce même rayon solaire on présente l'angle D d'un prisme, aussitôt il se relève dans une situation à-peu-près horizontale P M, avec les circonstances suivantes. 1°. Ce rayon paroît dilaté en forme d'éventail (1373), et forme sur le plan K L une image longue M N, arrondie par les extrémités (1382), et dont les côtés sont sensiblement rectilignes.

1399. 2°. La largeur de cette image égale le diamètre du cercle lumineux que le rayon solaire marqueroit en I, sans la rencontre du prisme (1397); d'où l'on doit conclure que le rayon n'est dilaté que dans un sens (1373).

1400. 3°. Cette lumière réfractée paroît, depuis le prisme jusqu'au plan K L, par bandes diversement colorées (1374); et l'image M N, qui en est formée, porte les mêmes couleurs dans l'ordre qui suit, de bas en haut, rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet (1378 et 1381).

1401. Ceci doit faire penser que la lumière est un fluide composé de parties essentiellement différentes: 1°. par le degré de réfrangibilité; 2°. par la propriété

d'exciter en nous la sensation de différentes couleurs. C'est aussi la conséquence qu'en a tirée *Newton*.

1402. De ces deux différences doivent résulter les effets dont nous venons de parler; 1°. une image plus longue que large (1582 et 1399), parce que le rayon n'est dilaté que dans un sens.

1403. 2°. Une image arrondie par les extrémités (1382); ce qui vient de ce qu'elle est formée par un nombre indéfini d'images circulaires (1390), qui anticipent les unes sur les autres (1382), et dont le très-grand nombre fait que les côtés sont sensiblement rectilignes.

1404. 3°. Que les couleurs qu'on remarque dans l'image MN, résident véritablement dans la lumière, puisqu'on les voit par bandes, depuis le prisme jusqu'au plan KL.

1405. 4°. Que les rayons, une fois démêlés, paroissent chacun sous leur couleur propre, dont se teignent les objets qu'ils éclairent.

1406. Il y a donc dans la lumière sept espèces de rayons (1378), capables de nous faire sentir autant de couleurs, sans compter tous ceux qui fournissent toutes les nuances intermédiaires, et qui sont dans un nombre indéfini.

1407. Il est aisé de s'assurer que ces apparences ne sont pas des modifications accidentelles, mais des propriétés inhérentes et constantes dans la lumière (1376). Qu'au rayon déjà réfracté, comme nous venons de le dire (1398), on présente un autre prisme AB (*fig.* 235), mais situé en sens contraire du premier; c'est-à-dire, que son axe fasse angle droit avec l'axe du premier. Si tous ces effets n'étoient

causés que par une modification de la lumière produite par le prisme, le second devroit faire en largeur ce que le premier a fait en longueur; d'où devroit résulter une image quarrée $Mm\,Nn$: c'est pourtant ce qui n'arrive pas. L'image n'est qu'inclinée, comme MN; et elle demeure constamment de la même largeur, et les couleurs sont toujours les mêmes, et semblablement situées respectivement les unes aux autres. L'inclinaison de l'image, qui est le seul changement qu'il y ait dans ce cas-là, vient de ce que les rayons qui ont été les plus rompus par le premier prisme, le sont encore le plus par le second AB. Ces rayons conservent donc constamment leur degré de réfrangibilité, ainsi que leurs couleurs propres, lesquelles sont inaltérables, et appartiennent inséparablement aux rayons qui les portent.

1408. On peut se procurer le plaisir de voir successivement tous les cercles colorés dont l'image est formée, en présentant, au rayon réfracté, des verres colorés des couleurs mêmes de l'image, assez épais et foncés en couleur (1390). Comme chacun de ces verres ne laisse passer que l'espèce de lumière dont la couleur est analogue à sa transparence, au lieu d'une image longue, on n'a, à chaque épreuve qu'une image ronde, mais uniformément colorée, et dont le diamètre égale celui du cercle lumineux qui n'auroit éprouvé aucune réfraction. Pour avoir une image bien ronde, il faut, avant de présenter le verre coloré au rayon réfracté, faire tourner le prisme sur son axe, jusqu'à ce que l'image cesse de descendre pour commencer à monter.

1409. Comme ces verres colorés laissent quelquefois passer d'autres couleurs que celles qui leur sont

analogues, parce qu'ils ont trop peu d'épaisseur, ou que leur couleur n'est pas assez foncée, on sera plus sûr de voir successivement tous les cercles colorés, en faisant l'expérience suivante. Après avoir réfracté le rayon de lumière par le prisme S V T (*fig.* 238), qu'on présente au rayon réfracté, à quelque distance l'une de l'autre, deux planches P Q, *p q*, percées chacune d'un petit trou X, *x*; et, après la seconde planche *p q*, un second prisme *s u t* placé en même sens que le premier. Si l'on fait tourner le premier prisme S V T sur son axe (1384), et qu'on fasse successivement passer tous les rayons réfractés par les trous X, *x*, et par le prisme *s u t*, on verra autant d'images rondes, chacune de la couleur du rayon qui la produit : et, en les recevant sur un carton Y *y*, on remarquera que la jaune va se placer plus haut que la rouge; que la verte se place plus haut que la jaune; et ainsi des autres jusqu'à la violette, qui se place le plus haut de toutes (1383); parce que ces couleurs sont plus rompues par ce second prisme, dans le même rapport dans lequel elles ont été plus rompues par le premier.

1410. Si, au rayon déjà réfracté P M N (*fig.* 234) on présente différens miroirs, ils ne changeront rien ni aux couleurs, ni à leurs positions respectives (1376 et 1386) : le miroir plan les réfléchit telles qu'elles sont; le miroir convexe affoiblit l'intensité des couleurs, en amplifiant l'image; le miroir concave resserre l'image jusqu'à son foyer, après quoi il la renverse et l'agrandit, en diminuant son éclat; le miroir cylindrique donne à l'image l'apparence d'un arc-en-ciel. Mais dans tous ces changemens les couleurs se conservent les mêmes, et gardent toujours

leurs positions respectives. Donc les rayons de lumière ont des degrés de réfrangibilité et des couleurs inaltérables.

1411. *Newton* a aussi remarqué que les rayons les plus réfrangibles sont aussi les plus réflexibles; c'est-à-dire, qu'ils se réfléchissent plutôt (1392). En effet, si l'on reçoit un rayon de lumière sur un des petits côtés K I (*fig.* 239) d'un prisme rectangulaire LKI, et que ce rayon fasse avec la base LI du prisme un angle d'un peu moins de 50 degrés, une partie de ce rayon ne se réfracte sensiblement qu'en sortant en M, et va former une image colorée sur le carton NN; car à son entrée par le côté KI il n'a presque point d'obliquité d'incidence (1280): l'autre partie du rayon se réfléchit en droite ligne vers O (1236), où l'on place un autre prisme TXV, dont l'angle réfringent X doit être au moins de 55 degrés; et cette portion de lumière, en se réfractant dans ce prisme, va former une seconde image colorée sur le carton P P. Si l'on fait tourner le premier prisme LKI sur son axe (1392), de façon que le rayon incident TM fasse, avec sa base LI, un angle d'environ 45 degrés, la lumière de la première image QRS commence à se réfléchir vers l'autre prisme; mais les rayons violets et les bleus Q disparoissent les premiers, et vont, après avoir passé par le second prisme, augmenter l'éclat de ces mêmes couleuss *q* dans la seconde image *q r s;* ensuite disparoissent de même, de la première image QRS, les verts, les jaunes, les orangés, et enfin les rouges, qui se réfléchissent les derniers.

1412. Tous les rayons ne sont donc pas également réflexibles, et puisque les violets et les bleus, qui

sont les plus réfrangibles (1374), sont aussi les plus réflexibles (1411); donc la lumière est composée de parties hétérogènes, dont les plus réfrangibles sont aussi les plus réflexibles.

1413. Si, pour chaque couleur, les degrés de réfrangibilité et de réflexibilité sont inaltérables, les couleurs de chaque rayon sont pareillement invariables (1376). Pour s'en convaincre, il faut soumettre aux épreuves suivantes un rayon bien homogène, et pour se le procurer, il faut choisir le rouge ou le violet qui occupent les deux extrémités de l'image; car cette image EF (*fig.* 240) résulte d'une suite de cercles de diverses couleurs, qui anticipent les uns sur les autres (1403) : il n'y a donc que les deux extrémites qui puissent fournir une couleur pure. Supposons donc qu'on choisit le rayon rouge :

1414. 1°. On fait passer ce rayon par l'angle d'un prisme. L'image de ce rayon, réfracté par le prisme, demeure ronde et d'une couleur uniforme; car tous les filets qui la fournissent sont également réfrangibles, puisqu'ils sont de la même couleur. Il n'en seroit pas de même, si c'étoit un rayon solaire (1398 *et suiv.*)

1415. 2°. On fait passer ce rayon par une lentille de 7 à 8 pouces (19 ou 20 centimètres) de foyer; ce rayon forme au foyer deux cônes opposés par leur sommet, mais qui sont de la même couleur dans toute leur étendue. Donc la condensation et la dilatation ne changent rien à la couleur.

1416. 3°. On présente à ce rayon un verre épais d'une autre couleur. Ou il ne laisse rien passer, ou

s'il en transmet une partie, la portion qui le traverse demeure rouge. Donc la couleur n'est point modifiée par le verre (1376).

1417. 4°. On réfléchit ce rayon par des miroirs de différentes formes. Ces miroirs ne font, tout au plus, qu'étendre ou resserrer cette lumière, sans rien changer à sa couleur (1410). Donc cette couleur tient à la nature de la lumière.

1418. 5°. On fait tomber ce rayon sur des corps différemment colorés. Ce rayon teint, de sa couleur propre, toutes les surfaces qu'il éclaire, de quelque nature qu'elles soient. Donc les couleurs appartiennent à la lumière, et elles sont inaltérables et à toute épreuve (1404 et 1405).

1419. *Newton*, pour éprouver toutes les couleurs les unes après les autres, s'y est pris de la manière suivante. Il a reçu le rayon de lumière solaire sur une lentille AB (*fig.* 241), placée à 3 ou 4 mètres (environ 10 ou 12 pieds) de distance du trou de la fenêtre par lequel entroit le rayon. Derrière cette lentille, au lieu d'un cercle lumineux *abcd*, il se forme un cône dont le sommet est en *g*. Mais en plaçant, immédiatement après cette lentille, un prisme CD, la lumière est réfractée en *ef*, en autant de cônes qu'il y a d'espèces différentes de couleurs dans la lumière; ce qui donne une image *ef* longue et étroite, dans laquelle les couleurs sont beaucoup plus distinctes qu'à l'ordinaire. Car, dans l'image étroite *ef* (*fig.* 240), les centres des cercles colorés sont aussi distans les uns des autres, qu'ils le sont dans l'image large EF; et comme ils ont un diamètre beaucoup moindre, ils anticipent aussi beaucoup moins les uns

sur

sur les autres; d'où il suit que les couleurs y sont fort peu mêlées, et beaucoup plus distinctes. C'est de ces rayons colorés, ainsi séparés, dont *Newton* s'est servi, pour les éprouver tous les uns après les autres.

Pour rendre l'image plus large, on fait passer le jet de lumière par une ouverture étroite et longue, dont la longueur est parallèle à celle du prisme. Mais il faut que cette ouverture n'ait guère que 2 millimètres (environ 1 ligne) de large : que la lentille ait un foyer d'environ 3 mètres (9 pieds 3 pouces); qu'elle soit placée à environ 4 mètres (12 pieds 4 pouces) du trou de la fenêtre; que l'angle du prisme soit au moins de 60 degrés. Alors la petite image est environ 70 fois plus longue que large; et chaque espèce de lumière est, dans la même proportion, plus simple.

1420. Pour bien réussir dans cette expérience, il faut que la chambre soit bien obscure; que le prisme et la lentille soient bien travaillés, d'un verre homogène et bien net, sans fils ni bouillons, et couvrir, avec du papier noir collé, toutes les parties inutiles à l'expérience, afin que quelque portion du jet de lumière réfractée ou refléchie irregulièrement, n'altère pas les effets.

1421. Puisque le mélange du rouge et du jaune produit l'orange (1379), et que l'orange, dans l'image colorée, appelée *spectre solaire*, se trouve placé entre le rouge et le jaune; puisque le mélange du jaune et du bleu produit le vert, et que le vert se trouve, dans le spectre solaire, entre le jaune et le bleu; enfin puisque le mélange du bleu et du violet produit l'indigo, et que cette dernière couleur se trouve, dans le spectre, entre le bleu et le violet, on pourroit

soupçonner que l'orangé, le vert et l'indigo ne sont pas des couleurs primitives, et qu'elles sont produites par le mélange de celles qui les avoisinent de part et d'autre. Mais *Newton* s'est assuré que ces trois couleurs sont primitives comme les quatre autres, par l'expérience suivante.

1422. Au moyen de deux tuyaux ou porte-lumière T T (*fig.* 236), on fait entrer, dans une chambre obscure, deux jets de lumière, chacun d'environ 3 lignes (7 millimètres) de diamètre; à 10 ou 12 pieds (3 ou 4 mètres) de là on les reçoit chacun sur une lentille L, *l*, derrière lesquelles on présente deux prismes G, *g*, placés en sens contraire l'un de l'autre, c'est-à-dire, leurs angles réfringens en dehors; et l'on place un peu plus loin une planche A B percée de deux trous C, D, de 5 lignes (7 millimètres) de diamètre chacun, et à environ 8 pouces (22 centimètres) l'un de l'autre. En tournant un peu les prismes G, *g*, et changeant les positions respectives de la planche A B et du carton E E, on fait coincider (1393), 1°. le rouge d'une des images colorées, et le jaune de l'autre; 2°. le jaune de l'une et le bleu de l'autre; 3°. le bleu de l'une et le violet de l'autre; ce qui fournit, 1°. une image orangée F; 2°. une image verte; 3°. une image indigo. Ensuite on se procure de semblables couleurs avec des lumières simples et homogènes, en bouchant un des trous C ou D, et faisant passer successivement, sur le carton E E, des portions de lumière orangée, verte et indigo de l'un des deux spectres; et l'on regarde toutes ces images, les unes après les autres, au travers d'un autre prisme H. Chacune des images produites par la lumière venant d'un seul prisme,

demeure ronde et d'une couleur uniforme dans toute son étendue, soit qu'on la voie à travers le prisme H, soit à la vue simple ; et les images composées des couleurs venant des deux prismes à-la-fois, et qui, à la vue simple, paroissent d'une couleur uniforme, deviennent ovales lorsqu'on les regarde par le prisme, et l'on voit l'une des deux couleurs déborder l'autre (1377). On a donc raison de regarder comme couleurs primitives ou simples, l'orangé, le vert et l'indigo de chaque spectre solaire produit par un seul prisme (1378).

1423. Nous avons dit ci-dessus (1380) que le mélange de toutes les couleurs primitives empêche qu'aucune d'elles ne soit apparente, et produit le blanc ou le brillant de la lumière solaire : en voici la preuve. Qu'on reçoive, sur une lentille IK (*fig.* 237) d'environ 2 décimètres (7 à 8 pouces) de foyer, un jet de lumière réfracté par un prisme ; ce jet de lumière, en passant par la lentille, prend la forme de deux cônes opposés au foyer par leurs sommets, qui portent toutes les couleurs primitives dans toute leur longueur, avec cette différence seulement que l'image demeure droite depuis la lentille jusqu'à son foyer, et qu'au-delà du foyer elle est renversée. Si l'on place un carton blanc bien perpendiculairement à l'axe des cônes, et précisément au foyer L de la lentille, on n'y apperçoit qu'un petit cercle brillant et sans couleur, produit par le mélange bien proportionné de toutes les couleurs (1387) : condition absolument essentielle ; car si l'on intercepte, avec une carte ou autrement, une partie des rayons colorés, cette suppression occasionne, sur le cercle brillant L, une teinte très-sensible. Le blanc ou la

lumière sans couleur, telle qu'elle nous vient du soleil, est donc celle qui contient toutes les couleurs simples par un mélange parfait (1388 et 1389); et le noir parfait n'est qu'une privation de toute lumière, simple ou composée.

1424. Puisque les rayons qui portent des couleurs différentes, ont des degrés différens de réfrangibilité (1374), il s'ensuit que la même lentille, quelle que soit sa courbure, ne peut pas réunir tous les rayons à son foyer; car elle ne réunit ces rayons qu'en les réfractant (1355); il y a donc autant de foyers à la suite les uns des autres, qu'il y a d'espèces de rayons différemment réfrangibles, et c'est ce qu'on appelle *aberration de réfrangibilité*. *Newton* a trouvé que la distance du premier de ces foyers au dernier étoit assez considérable, pour causer un défaut sensible dans la pratique : il l'a trouvé, dis-je, par l'expérience suivante.

1425. Il a pris un quarré de carton DE (*fig.* 212), dont la moitié FDG étoit peinte en bleu, et l'autre moitié FGE étoit peinte en rouge : il a roulé plusieurs fois, autour de ce carton, un fil délié de soie extrêmement noire. Il a appliqué ce carton, ainsi coloré et enveloppé de fils noirs, contre un mur perpendiculairement à l'horizon, de manière que l'une des couleurs étoit à droite et l'autre à gauche, puis il a placé, tout près du carton, dans les confins des couleurs et vers le bas, une grosse chandelle allumée, pour le bien éclairer; (car cette expérience doit être faite dans un lieu obscur). Après quoi, à la distance d'environ 6 pieds (2 mètres) du carton, il éleva une lentille de verre MN de 4 ¼ pouces (115 millimètres) de diamètre, et d'environ 3 pieds (1 mètre) de foyer,

au moyen de laquelle il rassembla les rayons venant des différens points du carton, les fit converger vers tout autant d'autres points, à la même distance d'environ 6 pieds (2 mètres) de l'autre côté de la lentille, et peindre ainsi l'image du carton coloré sur un papier blanc HI, placé dans cet endroit, perpendiculairement à l'horizon et aux rayons qui tomboient dessus en venant de la lentille. A la distance HI de la lentille, l'image de la moitié rouge FGE du carton paroissoit très-distinctement, car les lignes noires y étoient bien terminées; au contraire, la moitié bleue FDG y paroissoit si confuse, qu'on pouvoit à peine voir les lignes noires tirées sur cette moitié. Pour voir distinctement cette moitié bleue il falloit porter le papier en *h i*, à un pouce et demi (40 millimètres) plus près de la lentille MN : là, la moitié bleue FDG paroissoit très-distincte, et les lignes noires bien terminées ; mais la moitié rouge FGE y paroissoit très-confuse, et les lignes noires y étoient à peine visibles (1395). On voit que sur un aussi petit espace la différence d'un pouce et demi (40 millimètres) ne laisse pas que d'être considérable.

1426. J'ai trouvé cette différence bien plus grande dans une expérience analogue à celle-ci, faite très en grand avec la lentille à esprit-de-vin de *Trudaine*. (*Voyez les Mémoires de l'Académie*, année 1774, *page* 67.) Les rayons rouges se réunissoient à 3 mètres $\overset{\text{m.mt.}}{355,55}$ (10 pieds 3 pouces 11 $\frac{1}{2}$ lignes) du centre de la lentille ; et les bleus à 3 mètres $\overset{\text{m.mt.}}{136,73}$ (9 pieds 7 pouces 10 $\frac{1}{2}$ lignes) : la différence est $\overset{\text{m.mt.}}{218,82}$ (8 pou-

ces 1 ligne) sur 3 mètres $\overset{\text{m.mt.}}{355{,}55}$ (10 pieds 3 pouces 11 $\frac{1}{2}$ lignes) ; et par conséquent beaucoup plus grande que celle de 40 millimètres (1 $\frac{1}{2}$ pouce) sur 2 mètres (6 pieds). Les rayons violets se réunissoient à 3 mètres $\overset{\text{m.mt.}}{96{,}125}$ (9 pieds 6 pouces 4 $\frac{1}{2}$ lignes) du centre de la lentille : la différence étoit donc de $\overset{\text{m.mt.}}{259{,}42}$ (9 pouces 7 lignes), L'objectif d'une lunette ne peut donc réunir, dans le même endroit, qu'une partie de la lumière, à moins que l'objet ne soit d'une des couleurs primitives.

Si des rayons parallèles de toutes les espèces viennent, d'un point lumineux, dans l'axe d'une lentille de verre, le foyer des plus réfrangibles est plus près que celui des moins réfrangibles d'environ la 27 $\frac{1}{2}$ partie de la distance du foyer à la lentille. Si la lentille étoit d'esprit-de-vin, ce seroit d'environ la quatorzième partie.

Si le point lumineux est, d'un côté, aussi près de la lentille de verre, que l'est, de l'autre côté, le point où les rayons se réunissent, le foyer des plus frangibles est plus près que celui des moins réfrangibles de plus de la quatorzième partie de la distance.

Le plus petit espace circulaire où le verre d'un télescope puisse rassembler toutes sortes de rayons parallèles, est la 55e partie du diamètre de l'ouverture de ce verre. Si c'étoit une lentille d'esprit-de-vin, ce seroit environ la 38e partie.

1427. C'est cette aberration de réfrangibilité qui a fait abandonner à *Newton* le projet de perfectionner les télescopes dioptriquess, et qui l'a engagé à faire son télescope catadioptrique, dont nous parlerons ci-après (1627). L'aberration de sphéricité

est très-petite en comparaison; car, suivant *Newton* (*Traité d'Optique, page* 107), l'aberration de sphéricité est à l'aberration de réfrangibilité, comme 1 à 5449.

1428. Puisque, par la réfraction de la lumière dans une lentille, il y a autant de foyers à la suite les uns des autres, qu'il y a d'espèces de rayons différemment réfrangibles (1424), on ne peut donc déterminer le foyer d'une lentille que pour une espèce de rayons à-la-fois. Mais comme la plus lumineuse des couleurs est le jaune, c'est principalement le foyer de cette espèce de lumière qu'il faut déterminer, et dont il faut faire usage; c'est par la réfraction de ces rayons qu'il faut mesurer le pouvoir réfractif du verre ou du cristal pour les usages d'optique. Le sinus de l'angle d'incidence des rayons rouges est, suivant *Newton* (*Traité d'Optique, page* 6), au sinus de leur angle de réfraction dans l'eau, comme 4 à 3, et, dans le verre, comme 17 à 11. On voit bien que le sinus de l'angle de réfraction des rayons jaunes est un peu plus petit, puisqu'ils sont plus réfrangibles que les rouges (1383).

1429. De ce que nous venons de dire sur les couleurs, on doit conclure qu'elles sont des propriétés de la lumière, à laquelle elles appartiennent (1407 et 1418); qu'elles y résident au nombre de sept bien distinctes, avec un nombre indéfini de nuances intermédiaires (1378); que, des différentes combinaisons de ces sept espèces et de leurs nuances, se forment toutes les autres couleurs; que leur mélange bien proportionné empêche qu'aucune d'elles ne soit apparente, et forme le blanc ou le brillant de la

lumière solaire (1380); et que leur privation totale forme le noir parfait.

1430. Il est aisé de se persuader que toutes les couleurs et leurs nuances que nous voyons dans la nature, résultent des combinaisons de ces sept espèces. Car ces septs couleurs peuvent se combiner de 119 manières; 2 à 2, elles fournissent 21 combinaisons; 3 à 3, elles en fournissent 35; 4 à 4, 35; 5 à 5, 21; et 6 à 6, 7 combinaisons : sans compter les différentes proportions ou quantités de chacune, qui donnent des nuances à l'infini.

1431. Au moyen de ces principes, on peut rendre raison de tous les phénomènes qui ont rapport aux couleurs.

1432. Si l'on regarde au travers d'un prisme un objet un peu grand, sur-tout s'il est blanc; cet objet n'est coloré qu'aux deux bords qui sont parallèles à la longueur du prisme : ces deux bords opposés sont colorés différemment : l'un en rouge, orangé et jaune; et l'autre en bleu, indigo et violet. Ces couleurs sont les extrémités d'autant d'images de l'objet qu'il y a dans la lumière de rayons différemment réfrangibles (1394). Soit A B C D (*fig.* 243) un parallélogramme de carton blanc; qu'on le regarde au travers d'un prisme H I K : les rayons C E, D E, partant de ses extrémités C et D, iroient, sans l'interposition du prisme H I K, se réunir en E; mais, au moyen du prisme, ces rayons se réfractent, et pas tous également (1375) : les rouges vont se réunir en G; les violets en F; et les intermédiaires, entre ces deux points G et F, en autant de points qu'il y a de rayons différemment réfrangibles. L'œil placé de maniere à

recevoir tous ces rayons, voit donc, dans la direction des rayons réfractés, l'image *a o s p*, augmentée en hauteur de la quantité *b o*, qui est celle dont les rayons s'écartent par la réfraction. Cette image est colorée à ses deux extrémités; savoir, en bas, de rouge entre *a* et *c*; d'orangé entre *c* et *d*, et de jaune entre *d* et *e*; et vers le haut, de bleu entre *l* et *m*; d'indigo entre *m* et *n*, et de violet entre *n* et *o*. Il est aisé de voir que, comme nous venons de le dire, ces couleurs sont les extrémités d'autant d'images de l'objet. Car chaque couleur occupe une étendue semblable à celle du carton A B C D qui reçoit la lumière du soleil, puisque cette lumière est composée de toutes les couleurs (1381) : le rouge s'étend donc, dans l'image, depuis *a* jusqu'en *b*; l'orangé, depuis *c* jusqu'en *i*; le jaune, depuis *d* jusqu'en *k*; le vert, depuis *e* jusqu'en *l*; le bleu, depuis *f* jusqu'en *m*; l'indigo, depuis *g* jusqu'en *n*; et le violet, depuis *h* jusqu'en *o*.

1433. Cela explique clairement pourquoi il n'y a que les deux extrémités de l'image de colorées, et pourquoi le milieu demeure blanc. Il est clair, par ce que nous venons de dire (1432), que les couleurs anticipent beaucoup les unes sur les autres, et qu'il y en a de toutes les espèces dans l'intervalle entre *h* et *b*; aussi est-il parfaitement blanc : dans les petits intervalles, entre *e* et *h* et entre *b* et *l*, il en manque très-peu; ces espaces demeurent encore blancs, mais d'un blanc moins beau que celui du milieu : il n'y a donc que les deux extrémités, depuis *a* jusqu'en *e*, et depuis *l* jusqu'en *o*, où les couleurs sont assez démêlées pour être apparentes; encore ne sont-elles pas aussi brillantes que celles du spectre solaire (*fig.* 234);

formé par un petit jet de lumière de quelques millimètres de diamètre qui traverse un prisme; car, dans ce cas-là, les couleurs anticipent beaucoup moins les unes sur les autres, et sont, par conséquent, moins mêlées.

1434. Si l'objet qu'on regarde au travers du prisme, est petit et vu d'un peu loin, il est coloré dans toute sa surface. Cela vient de ce que plus l'objet est petit, moins chaque couleur occupe d'étendue; tandis que la quantité, dont les rayons sont écartés les uns des autres par la réfraction, est la même; auquel cas les couleurs anticipent moins les unes sur les autres (1433), et sont, par conséquent, moins mêlées et plus apparentes.

1435. De tous les phénomènes qui ont rapport aux couleurs, le plus beau est sans doute l'arc-en-ciel ou iris; c'est-à-dire, cette bande semi-circulaire, ornée des sept couleurs primitives (1378), et placée dans les nuées, que l'on apperçoit, lorsqu'ayant le dos tourné au soleil, on regarde une nuée qui fond en pluie, et qui est éclairée par cet astre, pourvu toutefois qu'il soit moins élevé que de 42 degrés au-dessus de l'horizon (1456).

1436. *Antoine de Dominis* montre dans son livre *de Radiis visûs et lucis*, imprimé à Venise en 1611, que l'arc-en-ciel est produit, dans des gouttes rondes de pluie, par deux réfractions de la lumière solaire et une réflexion entre deux. Mais *Kepler* avoit eu, avant lui, la même pensée, comme on le voit par les lettres qu'il écrivit à *Beranger* en 1605, et à *Harriot* en 1606. Mais comme ces savans ne connoissoient point l'origine des couleurs, l'explication qu'ils ont

donnée de ce météore, est défectueuse à quelques égards. C'est à *Newton* que nous en devons une explication exacte : il l'a rendue lumineuse en y appliquant sa découverte de la décomposition de la lumière, et du degré de réfrangibilité propre à chaque espèce de rayon.

1437. On apperçoit ordinairement deux arcs-en-ciel, un intérieur, dont les couleurs sont vives, et un extérieur, dont les couleurs sont plus foibles. L'ordre de ces couleurs est celui-ci ; dans l'arc intérieur, en allant de bas en haut, on voit d'abord le violet, ensuite l'indigo, le bleu, le vert, le jaune, l'orangé et le rouge : dans l'arc extérieur, les couleurs sont dans un ordre renversé ; de sorte qu'en allant encore de bas en haut, on voit d'abord le rouge, ensuite l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo et le violet.

1438. Pour expliquer comment cela se fait, supposons que les cercles *s t* D (*fig.* 244) et G *d s* (*fig.* 245) représentent deux gouttes de pluie. Le trait de lumière solaire S *s* (*fig.* 244) venant frapper obliquement la goutte de pluie en *s*, au lieu de continuer sa direction vers F, sera réfracté en s'approchant de la perpendiculaire *p* C (1285), et ira heurter la concavité de la goutte en *t* : la portion de cette lumière qui ne traversera pas la goutte, sera réfléchie vers *e*, en faisant son angle de réflexion égal à celui de son incidence (1218) ; et, au lieu de continuer sa route en droite ligne vers *f*, elle sera réfractée une seconde fois, en s'écartant de la perpendiculaire *p* C, parce qu'elle passe obliquement de l'eau dans l'air.

1439. Mais comme ce trait de lumière, quelque

mince qu'il soit, est un faisceau de rayons plus réfrangibles les uns que les autres, le violet, qui l'est le plus de tous, se rendra vers le point B, et le rouge, qui l'est le moins, se rendra vers le point O. Si donc l'œil de l'observateur est placé en O, de façon que le jet de lumière qui vient le frapper, après avoir souffert, dans la goutte de pluie, une réflexion et deux réfractions ; savoir, une en y entrant, et une autre en en sortant (1438) de façon, dis-je, que ce jet de lumière *e* O fasse, avec le rayon solaire S *s*, un angle S F O de 42 degrés 2 minutes, cet œil verra le rouge dans la direction O *r*. Si ensuite l'œil s'élève jusqu'en B, par exemple, de façon que le jet de lumière *e* B qui arrive à lui, ne fasse plus avec le rayon solaire S *s*, qu'un angle de 40 degrés 17 minutes, il verra, dans son élévation, successivement toutes les couleurs prismatiques, et appercevra enfin le violet dans la direction B *b*. La même chose arriveroit, si l'œil de l'observateur demeurant à sa première place, savoir, en O, la goutte de pluie descendoit de D en E ; et si l'on supposoit cet espace rempli d'une suite de gouttes de pluie, on verroit à la fois toutes les couleurs prismatiques.

1440. Que l'on imagine à présent de pareilles suites de gouttes de pluie placées dans la circonférence d'un demi-cercle, dont l'œil du spectateur occupe le centre, on aura une bande semi-circulaire ornée des sept couleurs primitives (1378), et dont la largeur sera égale à l'espace D E ; c'est-à-dire, qu'elle sera proportionnelle à la différence qu'il y a entre les rayons les plus réfrangibles, et ceux qui le sont le moins.

1441. Pour expliquer maintenant les apparences

de l'arc-en-ciel extérieur, supposons encore que le trait de lumière solaire S *s* (*fig.* 245) vient frapper obliquement en *s* la goutte de pluie représentée par le cercle G *ds*; au lieu de continuer sa route vers *a*, il se réfractera en s'approchant de la perpendiculaire *p*C (1285), et ira heurter la concavité de la goutte en *d*: la portion de cette lumière qui ne traversera pas la goutte, sera réfléchie vers *e*, en faisant son angle de réflexion égal à celui de son incidence; une partie de cette même portion sera encore réfléchie une seconde fois vers *g*, faisant toujours son angle de réflexion égal à celui de son incidence (1218); et ensuite, au lieu de continuer sa route en droite ligne vers *h*, elle se réfractera une seconde fois en s'éloignant de la perpendiculaire *p*C.

1442. Ce trait de lumière étant, comme dans le cas précédent (1439), un assemblage de rayons plus réfrangibles les uns que les autres, le rouge, qui l'est le moins de tous, se rendra vers le point O, et le violet, qui l'est *le* plus, se rendra vers le point B. Maintenant que l'œil de l'observateur se place en O, de façon que le jet de lumière qui vient le frapper après avoir souffert, dans la goutte de pluie, deux réflexions et deux réfractions, savoir, une en y entrant, et l'autre en en sortant (1441); de façon, dis-je, que ce jet de lumière *g*O fasse, avec le rayon solaire S *s*, un angle S *h*O de 50 degrés 57 minutes, cet œil verra le rouge dans la direction O *r*. Si ensuite l'œil s'abaisse jusqu'en B, par exemple, de façon que le jet de lumière *g* B qui arrive à lui, fasse, avec le rayon solaire S *s*, un angle S *h* B de 54 degrés 7 minutes, il aura vu successivement dans son abaissement toutes les couleurs prismatiques, et appercevra enfin le vio-

let dans la direction B *b*. La même chose arriveroit, si l'œil de l'observateur demeurant à sa même place, savoir, en O, la goutte de pluie montoit de G en H; et si l'on supposoit cet espace rempli d'une suite de gouttes de pluie, l'œil verroit à la fois toutes les couleurs prismatiques.

1443. Si vous imaginez maintenant, comme dans le premier cas (1440), de pareilles suites de gouttes de pluie placées dans la circonférence d'un demi-cercle, dont l'œil du spectateur occupe le centre, cela vous donnera une seconde bande semicirculaire ornée des sept couleurs primitives (1378), mais dans un ordre opposé à celui de la première.

1444. Ce que nous avons supposé jusqu'ici arrive effectivement. Quand une nuée fond en pluie, il s'en trouve des gouttes dans toutes les places convenables, pour que les rayons émergens fassent avec les rayons incidens les angles que nous avons dit être nécessaires pour les apparences de l'arc-en-ciel (1439 et 1442). Rendons ceci sensible par une figure. Supposons que E, F, G et H (*fig.* 246) représentent des gouttes de pluie, sur lesquelles vont tomber les rayons solaires S E, S F, S G, S H : ces rayons, après avoir souffert, en E et en F, deux réfractions et une réflexion (1438), sont dirigés vers le même œil placé en O. L'angle SEO, formé par le rayon incident S E, et le rayon émergent E O, étant de 40 degrés 17 minutes, on voit le violet en E : l'angle S F O, formé de même par le rayon incident S F et le rayon émergent F O, étant de 42 degrés 2 minutes, on voit le rouge en F; et les autres gouttes de pluie qui se trouvent placées entre E et F, renvoyant à l'œil des rayons émergens, qui forment avec les rayons inci-

dens des angles convenables, l'œil apperçoit en même temps toutes les autres couleurs.

1445. De même, les rayons S G, S H, après avoir souffert en G et en H deux réfractions et deux réflexions (1441), sont encore dirigés vers le même œil placé en O. L'angle S G O, formé par le rayon incident S G et le rayon émergent G O, étant de 50 degrés 57 minutes, on voit le rouge en G: L'angle S H O, formé de même par le rayon incident S H et le rayon émergent H O, étant de 54 degrés 7 minutes, on voit le violet en H; et les autres gouttes de pluie qui se trouvent placées entre G et H, renvoyant encore à l'œil des rayons émergens qui forment avec les rayons incidens des angles convenables, l'œil apperçoit en même temps toutes le autres couleurs.

1446. On en peut dire autant de toutes les pareilles suites de gouttes de pluie placées dans les circonférences de deux demi-cercles, dont l'œil du spectateur occupe le centre; ce qui donnera les deux bandes colorées A F B E et C H D G, dont les coucouleurs seront placées dans un ordre opposé (1443), de sorte que le rouge bordera extérieurement l'arc intérieur, et intérieurement l'arc extérieur, tandis qu'au contraire le violet bordera intérieurement l'arc intérieur, et extérieurement l'arc extérieur.

1447. Les couleurs de l'arc extérieur sont plus foibles que celles de l'arc intérieur, parce que, comme on l'a vu ci-dessus (1441), les rayons qui forment l'arc extérieur souffrent une réflexion de plus; ce qui cause beaucoup de déchet, parce que le jet de lumière ne se réfléchit pas en entier; il en sort une partie de la goutte.

1448. Si l'on vouloit imiter les apparences des arcs-en-ciel, il seroit aisé de le faire au moyen de deux globes de verre remplis d'eau, que nous pouvons supposer représentés par les cercles *s t* D (*fig.* 244) et G *d s* (*fig.* 245), suspendus par leur axe avec des cordons C H M qui passeroient sur des poulies fixées au plafond. En tirant ou lâchant les cordons, on élèveroit ou l'on baisseroit les globes selon le besoin; et de façon qu'en faisant tomber sur chacun d'eux un rayon solaire S *s* dans une chambre obscure, on fît former par ces rayons incidens avec les rayons émergens, des angles tels que nous les avons dit (1439 et 1442) être nécessaires pour produire les apparences des arcs-en-ciel.

1449. Il faut remarquer que, dans ce cas-là, les couleurs se présentent à l'œil, et se placeroient sur un carton qu'on leur opposeroit, dans un ordre tout différent de celui dont nous avons parlé ci-dessus (1437), et qu'on observe aux arcs-en-ciel; de sorte que les violets se trouvent dans l'intérieur; savoir, en B, B, et les rouges dans l'extérieur; savoir, en O, O; tandis qu'au contraire, dans les arcs-en-ciel, (*fig.* 246), le rouge borde extérieurement l'arc intérieur, comme en F, et intérieurement l'arc extérieur, comme en G; et par-là les rouges se trouvent en dedans, et les violets en dehors. Mais il faut faire attention que, voyant ces couleurs au ciel, nous les y rapportons par des directions qui se croisent aux points d'émergences *e* (*fig.* 244) et *g* (*fig.* 245). C'est pourquoi nous voyons les rouges en *r*, *r*, et les violets en *b*, *b*.

1450. La largeur des deux bandes colorées qui forment

forment les deux arcs-en-ciel, est plus grande dans l'un et dans l'autre que ne la donnent les limites qui renferment les différens degrés de réfrangibilité de chacun des rayons hétérogènes qui composent le faisceau. *Newton* a calculé quelles doivent être ces largeurs, et il a déterminé celle de l'arc intérieur de 1 degré 45 minutes, celle de l'arc extérieur de 3 degrés 10 minutes, et leur distance réciproque de 8 degrés 55 minutes. C'est réellement là ce qu'elles devroient être, et ce qu'elles seroient effectivement, si le soleil n'étoit qu'un point; mais son diamètre est d'un demi-degré ou à-peu-près, ce qui élargit chacune des bandes, et diminue leur distance réciproque; de sorte que, dans le fait, la largeur de l'arc interieur est de 2 degrés 15 minutes, celle de l'arc extérieur de 3 degrés 40 minutes, et leur distance réciproque est seulement de 8 degrés 25 minutes.

1451. Cette explication des apparences des arcs-en-ciel peut servir aussi à rendre raison des couleurs qu'on apperçoit autour du jet d'eau que le vent agite et divise en gouttes de pluie, lorsqu'il est éclairé du soleil, et qu'on le regarde ayant le dos tourné à cet astre; car on n'apperçoit pas cet effet dans toutes sortes de positions : et si l'on fait attention à celle qui est nécessaire, on verra qu'alors les angles, formés par les rayons incidens qui vont du soleil au jet d'eau, et par les rayons émergens qui reviennent du jet d'eau à l'œil du spectateur, sont assujétis aux mêmes conditions que celles qu'exigent les apparences des arcs-en-ciel.

1452. Nous avons dit ci-dessus (1440 et 1443) que les deux arcs-en-ciel représentent chacun une bande semi-circulaire (*fig.* 246); il est cependant

très-probable que les gouttes de pluie qui séparent les couleurs ne sont pas ainsi rangées ; mais voici la raison de cette apparence. L'œil étant placé au sommet d'un cône, voit les objets qui sont sur sa surface, comme s'ils étoient placés dans des cercles concentriques inscrits les uns dans les autres, sur-tout lorsque ces objets sont assez éloignés de lui ; car quand différens objets sont à une distance assez considérable de l'œil, ils paroissent en être à la même distance (1211). Or les gouttes d'eau au travers desquelles passent les rayons de lumière qui font voir les arcs-en-ciel, sont comme rangées sur la surface d'un cône, dont le sommet est l'œil de l'observateur : en conséquence, ces gouttes doivent lui paroître comme si elles étoient disposées en autant de bandes ou arcs colorés, comme on le voit dans les arcs-en-ciel. On appelle *ligne d'aspect*, l'axe du cône dont le sommet est à l'œil de l'observateur, lequel axe est perpendiculaire au soleil.

1453. Il est aisé de déduire de ces principes l'explication de tous les phénomènes particuliers de l'arc-en-ciel.

1°. Par exemple, pourquoi les arcs-en-ciel sont toujours de même largeur. C'est parce que les degrés de réfrangibilité des rayons rouges et violets qui forment ses couleurs extrêmes, sont toujours les mêmes (1407) ; ils produisent donc toujours les mêmes écartemens entre les couleurs.

1454. 2°. Pourquoi l'arc-en-ciel change de situation à mesure que l'œil en change. C'est que les gouttes colorées sont disposées sous un angle déterminé autour de la ligne d'aspect (1452), laquelle varie à mesure qu'on change de place. De là vient aussi

que chaque spectateur voit un arc-en-ciel différent. Il faut pourtant dire que ce changement de l'arc-en-ciel pour chaque spectateur, s'ils sont près les uns des autres, n'est vrai que rigoureusement parlant; car les rayons du soleil étant censés parallèles, à cause du très-grand éloignement de cet astre (1750), deux spectateurs voisins l'un de l'autre voient assez sensiblement le même arc-en-ciel.

1455. 3°. D'où vient que l'arc-en-ciel forme une portion de cercle, tantôt plus grande et tantôt plus petite. C'est que sa grandeur dépend du plus ou moins d'étendue de la partie de la superficie conique (1452) qui est au-dessus de l'horizon dans le temps qu'il paroît; et cette portion est plus petite ou plus grande, suivant que la ligne d'aspect est plus ou moins inclinée ou oblique à la surface de la terre. Cette obliquité augmente à proportion que le soleil est plus élevé; ce qui fait que la grandeur de l'arc-en-ciel diminue à proportion que le soleil s'élève.

1456. 4°. Pourquoi l'arc en-ciel ne paroît jamais, lorsque le soleil est élevé d'une certaine hauteur. C'est que la surface conique sur laquelle il doit paroître (1452), est cachée sous l'horizon, lorsque le soleil est élevé de plus de 42 degrés (1435); car, dans ce cas-là, si vous supposez une ligne partant de l'œil de l'observateur parallèlement au rayon solaire, cette ligne fait avec le dessous, de même qu'avec le dessus de l'horizon, un angle de plus de 42 degrés; par conséquent le rayon émergent de la goutte de pluie, qui doit faire avec le rayon solaire (1439), et par conséquent avec sa parallèle, un angle seulement de 42 degrés, se trouve au-dessous de l'horizon; de sorte que, rencontrant la surface de la terre, il ne peut arriver

à l'œil. Il suit pourtant de là que si le soleil est élevé de plus de 42 degrés, mais moins de 54 (1442), on pourra voir l'arc-en-ciel extérieur, et non l'arc-en-ciel intérieur.

1457. 5°. Pourquoi on voit quelquefois les jambes de l'arc-en-ciel contiguës à la surface de la terre; et pourquoi d'autres fois ces jambes ne paroissent pas jusqu'à terre. C'est parce qu'on ne voit l'arc-en-ciel que dans les endroits où il y a des gouttes de pluie: or si la pluie est assez étendue pour occuper un espace plus grand que la portion visible de la surface conique sur laquelle il doit paroître (1452), on verra un arc-en-ciel qui ira jusqu'à terre; sinon, on n'en verra que dans la partie de cette surface occupée par la pluie.

1458. 6°. Pourquoi les jambes de l'arc-en-ciel paroissent quelquefois inégalement éloignées. Si la pluie se termine du côté du spectateur, dans un plan tellement incliné à la ligne d'aspect, que le plan de la pluie forme avec cette ligne un angle aigu du côté du spectateur, et un angle obtus de l'autre côté, la surface du cône sur laquelle sont placées les gouttes qui doivent faire paroître l'arc-en-ciel (1452), sera tellement disposée, que la partie de cet arc qui sera d'un côté, paroîtra plus proche de l'œil que celle de l'autre côté.

1459. 7°. Comment l'arc-en-ciel peut paroître interrompu et tronqué en sa partie supérieure. Il ne faut pour cela qu'un nuage qui intercepte les rayons et les empêche de venir de la partie supérieure de l'arc à l'œil du spectateur. Il peut encore arriver qu'on ne voie que les deux jambes de l'arc-en-ciel,

parce qu'il n'y a point de goutte de pluie à l'endroit où devroit paroître sa partie supérieure.

1460. 8°. Pourquoi l'arc en-ciel ne paroît pas toujours exactement rond, et pourquoi il paroît quelquefois incliné. C'est que l'apparence de sa rondeur exacte dépend de son éloignement, qui nous empêche de le bien voir; mais si la pluie qui le produit, est près de nous, on apperçoit ses irrégularités; et si le vent chasse la pluie, en sorte que sa partie supérieure soit sensiblement plus éloignée de l'œil que l'inférieure, l'arc paroîtra incliné; en ce cas, l'arc-en-ciel peut paroître ovale, comme le paroît un cercle incliné, vu d'assez loin.

1461. 9°. Pourquoi l'arc-en-ciel ne paroît pas plus grand qu'un demi-cercle. Le centre de l'arc-en-ciel est toujours dans la ligne d'aspect (1452), laquelle est perpendiculaire au soleil; donc, dans le cas où le soleil est à l'horizon, cette ligne rase la terre. Si donc le soleil est élevé au-dessus de l'horizon, l'extrémité de cette ligne la plus éloignée du soleil, et qui se trouve au centre de l'arc, est au-dessous de l'horizon, et par conséquent n'est pas visible. On ne peut donc pas voir plus du demi-cercle; car pour voir le demi-cercle entier, il faut voir son centre.

1462. Il est pourtant vrai que, si le spectateur est placé sur une éminence fort élevée, et que le soleil soit à l'horizon, ou même un peu au-dessous, alors la ligne d'aspect (1452), dans laquelle est le centre de l'arc-en-ciel, sera considérablement élevée au-dessus de l'horizon; et l'arc-en-ciel occupera pour lors plus d'un demi-cercle.

1463. Et même, si le lieu est extrêmement élevé,

et que les gouttes de pluie soient proches du spectateur, il peut arriver que l'arc-en-ciel forme un cercle entier.

1464. Et si la partie supérieure de ce cercle est couverte par des nuages, et qu'il n'y ait que sa partie inférieure de visible, l'arc-en-ciel paroîtra renversé.

1465. La lumière de la lune, réfractée et réfléchie par les gouttes de pluie, produit l'arc-en-ciel, comme celle du soleil, et avec les mêmes couleurs; mais elles sont presque toujours plus foibles, parce que l'intensité de la lumière de la lune est de beaucoup inférieure à celle de la lumière du soleil.

1466. C'est encore à la réfraction de la lumière par des gouttes d'eau, qu'on doit attribuer la formation de ces cercles colorés, qu'on apperçoit autour du soleil, de la lune, des autres planètes et des étoiles, et que l'on appelle *couronnes*. Tous les physiciens conviennent qu'il faut les attribuer, comme on attribue l'arc-en-ciel, à la réfraction des rayons de lumière dans les particules de vapeurs, les gouttes d'eau, les parcelles de glace et de neige dont l'atmosphère est chargée, avec cette différence que, dans l'arc-en-ciel, il y a réflexion et réfraction des rayons (1458 et 1441), et que, dans les couronnes, il n'y a que réfraction.

1467. La grandeur de ces couronnes varie beaucoup : elle dépend de l'épaisseur plus ou moins grande de ces corps hétérogènes qui réfractent la lumière, et de leur proximité à nos yeux.

1468. Ce qui appuie cette théorie, et lui donne de la vraisemblance, c'est qu'on peut imiter ainsi ce

météore dans un temps froid. Regardez une bougie allumée au travers de la vapeur qu'exhale de l'eau chaude, contenue dans un vase placé entre la bougie et votre œil ; et vous verrez autour de la flamme une couronne colorée. Vous aurez le même effet, si vous regardez une bougie allumée au travers d'une glace de verre bien polie, et ternie par des petites gouttes d'eau imperceptibles, comme le sont, par un temps froid, les glaces des carrosses dans lesquels il y a du monde.

1469. On apperçoit quelquefois une portion de cercle de lumière colorée comme l'arc-en-ciel, sur une prairie ou sur un champ que l'on regarde d'un lieu un peu élevé, quelque temps après le lever du soleil, ou quelque temps devant son coucher. Cette portion de cercle, ainsi colorée, peut être appelée *arc-en-terre*. Ce phénomène est, de même que celui de l'arc-en-ciel, un effet de la lumière réfractée et réfléchie par les gouttes de rosée ou de pluie qui sont adhérentes à l'herbe ; et peut être expliqué de la même manière (1438 *et suiv.*). Si l'on fait attention à la hauteur du soleil sur l'horizon, à la position dans laquelle on est lorsqu'on apperçoit le phénomène, au pouvoir réfringent des gouttes d'eau répandues sur l'herbe, et aux différens degrés de réfrangibilité des rayons dont la lumière solaire est composée, on verra que le tout est assujéti aux mêmes conditions que celles d'où naissent les apparences de l'arc-en-ciel.

1470. On peut faire ici une réflexion bien singulière : on ne sait pas pourquoi une pierre tombe (199) ; et l'on connoît la cause des couleurs de l'arc-en-ciel et de leur arrangement respectif, quoique ce dernier phénomène soit, pour la multitude, beaucoup plus

surprenant qne le premier. Il semble que l'étude de la nature soit propre à nous enorgueillir d'une part, et à nous humilier de l'autre.

1471. La lumière souffre aussi une déviation, lorsqu'elle rase les bords des corps opaques : et cette déviation se nomme *diffraction* ou *inflexion*. Lorsque des rayons de lumière rasent les bords d'un corps opaque, ils se détournent de leur chemin, et ne continuent pas leur route en ligne droite. La diffraction est donc cette inflexion des rayons qui se fait à la superficie ou auprès de la superficie des corps, et d'où résulte, non-seulement une plus grande ombre que celle qu'ils doivent donner, mais encore, à côté de cette ombre, différentes couleurs fort semblables à celle du spectre solaire (1421).

1472. *Newton* (*Traité d'Optique, liv.* 3, *p.* 477) a donné, d'une manière bien détaillée, les effets de la diffraction, que voici. Soit A B C D (*fig.* 247) la coupe d'un cheveu ou d'un fil délié de métal; R R, un jet de lumière solaire reçu par un fort petit trou dans une chambre obscure, et auquel on a opposé le corps A B C D à quelques pieds au-delà. Si l'on reçoit l'ombre du fil A C sur un plan, à quelques pieds de distance, par exemple en N Z, elle y sera trouvée beaucoup plus grande qu'elle ne devoit l'être à raison du diamètre de ce fil : on voit de plus, de part et d'autre des limites de l'ombre, en N L, Z Q, des bandes ou franges de lumière colorée.

1473. Il ne faut pas croire que les couleurs N, E, L, d'un côté de l'ombre, et Z, V, Q, de l'autre côté, représentent simplement la suite des couleurs de la lumière, chacune des bandes ou franges

ne donnant qu'une de ces couleurs : ce sont bien distinctement tout au moins trois ordres ou suites de couleurs de chaque côté, et posées l'une auprès de l'autre, à-peu-près comme les spectres d'autant de prismes ajustés l'un sur l'autre, au-dessus et au dessous du corps diffringent A B C D. Ces trois suites de franges ou de couleurs sont représentées approchant dans leurs proportions (*fig.* 248), par rapport à l'ombre O du cheveu, et marquées, sur le milieu, des mêmes lettres que leurs correspondantes dans la *fig.* 247. Ainsi la première, en partant de l'ombre, est N (*fig.* 248) d'un côté, et Z de l'autre; la seconde, E et V; et la troisième L et Q. On voit dans la première, de part et d'autre, en venant de l'ombre, les couleurs suivantes : violet, indigo, bleu pâle, vert, jaune et rouge; et dans la seconde, en suivant le même ordre, bleu, jaune et rouge; et dans la troisième, bleu pâle, jaune.pâle et rouge.

1474. La cause de la diffraction de la lumière n'est pas bien connue. Je pense cependant qu'on pourroit lui en attribuer une qui est assez vraisemblable. Il paroît prouvé que tous les corps ont une atmosphère particulière, dont la densité diffère de celle de l'air. Si cela est, les rayons de lumière, qui rasent les bords des corps, doivent souffrir une réfraction en traversant cette atmosphère I H X K F (*fig.* 247). La cause de la diffraction de la lumière sera donc la réfraction qu'elle souffre en passant au travers de l'atmosphère particulière des corps. J'ai fait quelques expériences qui paroissent prouver que les atmosphères des corps ont un pouvoir refringent moindre que celui de l'air; car lorsque j'ai entouré les corps d'une substance qui a un pouvoir réfringent

plus grand que celui de l'air, les couleurs, dans chaque suite, se sont trouvées placées en sens contraire. Pour cela j'ai pris un tube de verre très-délié: je l'ai rempli de mercure, et l'ai plongé dans le rayon solaire. Le mercure représentoit le fil délié de métal (1472); et le tube de verre qui le contenoit, représentoit son atmosphère.

1475. Dans toutes ces expériences, ainsi que dans celles dans lesquelles je n'ai employé qu'un fil de métal à nud, j'ai obtenu, non-seulement trois suites de couleurs de chaque côté (1473), mais un bien plus grand nombre, que je recevois sur un carton, courbé en rond devant l'appareil. Ces images colorées se portoient dans l'étendue de plus du demi-cercle : ce qui me fait croire que, dans ces atmosphères, il y a non-seulement réfraction, mais même réflexion de la lumière, comme cela arrive dans les gouttes de pluies qui fournissent les apparences des arcs-en-ciel (1438 et 1441).

Des Couleurs considérées dans les objets qui nous les font sentir.

1476. Comme les couleurs appartiennent invariablement à la lumière (1407 et 1418), les corps ne peuvent paroître de telle ou telle couleur, qu'autant qu'ils ne réfléchissent ou ne transmettent que des rayons de cette couleur, ou qu'ils réfléchissent ou transmettent plus de rayons de cette couleur que des autres : ou plutôt ils paroissent de la couleur qui résulte du mélange des rayons qu'ils réfléchissent ou transmettent.

1477. Mais, comme plusieurs corps exposés au

même jour, à la même lumière, paroissent de couleurs différentes, il faut nécessairement qu'il y ait en eux quelques dispositions qui les rendent chacun propres à réfléchir ou transmettre certaines parties de cette lumière à l'exclusion des autres. Quelles sont donc ces dispositions?

1478. *Newton*, après un grand nombre d'observations et d'expériences, s'en est tenu, pour rendre raison de la couleur des corps, à la seule épaisseur plus ou moins grande des petites lames ou particules qui les composent : il a cru en voir la preuve dans les bulles de savon, dont les parois changent de couleur en changeant d'épaisseur; ainsi que dans les lames minces de verre que soufflent les émailleurs, et qui font voir différentes couleurs, suivant leurs différens degrés d'amincissement. Voici, en outre, une des principales preuves que *Newton* en apporte (*Traité d'Optique*, *liv.* 2, *part.* 1, *obs.* 4, *pag.* 223).

1479. Il a pris deux verres objectifs, l'un plan convexe, propre à un télescope de 14 pieds (4 mètres 547,75 m. mt.), et l'autre convexo-convexe, propre à un télescope d'environ 50 pieds (16 mètres 242 m. mt.), et sur ce dernier appliquant l'autre par son côté plan, comme dans la *fig.* 249, et les pressant doucement l'un contre l'autre, il observa ce qui suit.

1480. 1°. Ces verres, étant posés sur un fond obscur, afin de ne voir que la lumière réfléchie par les verres ou par la lame d'air qui se trouve entr'eux deux, il vit au milieu une tache noire, entourée de cercles colorés ; la forme qu'avoient ces couleurs lorsque les verres étoient assez comprimés pour faire paroître la tache noire dans le centre, est tracée

dans la *figure* 250, dans laquelle *a*, *b*, *c*, *d*, *e* : *f*, *g*, *h*, *i*, *k* : *l*, *m*, *n*, *o*, *p* : *q*, *r* : *s*, *t* : *u*, *x* : *y*, *z*, désignent les couleurs suivantes, à les compter par ordre, depuis le centre *a*, qui est noir, bleu, blanc, jaune, rouge : violet, bleu, vert, jaune, rouge : pourpre, bleu, vert, jaune, rouge : vert-rouge : bleu-verdâtre, rouge : bleu-verdâtre, rouge pâle : bleu-verdâtre, blanc-rougeâtre.

1481. 2°. Ces deux verres étant placés entre la lumière et l'œil, de façon à voir la lumière qui les traverse, il observa que l'air interposé faisoit voir des anneaux colorés en transmettant la lumière aussi bien qu'en la réfléchissant. Mais alors à la place de la tache noire *a*, on voyoit un petit cercle lumineux ; et à compter les couleurs de là, elles paroissoient dans l'ordre suivant ; rouge-jaunâtre : noir, violet, bleu, blanc, jaune, rouge : violet, bleu, vert, jaune, rouge : vert-jaunâtre, rouge : vert-bleuâtre, rouge. Mais ces couleurs étoient très-foibles, hormis lorsque la lumière passoit fort obliquement au travers des verres ; car, par ce moyen, elles devenoient assez vives.

1482. En comparant ces anneaux produits par une lumière transmise, avec les anneaux colorés produits par une lumière réfléchie, *Newton* trouva que le blanc étoit opposé au noir, le rouge au bleu, le jaune au violet, et le vert à une couleur composée de rouge et de violet : c'est-à-dire, que les parties du verre qui, lorsqu'on regardoit dessus, paroissoient blanches, étoient noires, lorsqu'on les voyoit en regardant à travers ; et qu'au contraire, celles qui, dans le premier cas, paroissoient noires, paroissoient

blanches dans le second. De même aussi celles qui, dans le premier cas, paroissoient bleues, dans l'autre paroissoient rouges; et il en étoit de même des autres couleurs. C'est ce que l'on peut voir par la *figure* 249, dans laquelle A B, C D sont les surfaces des verres qui se touchent en E : les lignes noires tracées entre deux sont les distances de ces surfaces, à différens éloignemens du centre; lesquelles distances, répondantes à chaque anneau coloré, *Newton* a trouvées être dans la progression arithmétiques des nombres impairs 1, 3, 5, 7, 9, 11, etc. et les couleurs écrites au-dessus, sont vues par une lumière réfléchie; et celles qui sont écrites au-dessous, par une lumière transmise.

1483. Entre les deux verres A B, C D, il est clair qu'il reste une lame d'air, qui s'amincit de la circonférence vers le centre, et qui manque à l'endroit E du contact. A ce point de contact, on voit noir par réflexion, parce que le fond obscur qui est dessous (1480), ne renvoie point ou presque point de lumière. A ce même point de contact, on voit lumineux par transparence (1481), parce que la lumière passe librement au travers des deux verres contigus. De ce point de contact à la circonférence, les couleurs des cercles changent, comme les différens degrés d'épaisseur des lames d'air qui y répondent. De plus, en serrant de plus en plus les verres A B, C D, l'un contre l'autre, on amincit les bords intérieurs de la lame d'air A E C, ou B E D; et les cercles colorés s'éloignent d'autant du centre. Il paroît donc que les différentes épaisseurs de petites lames qui composent les corps, sont une des causes des apparences

des différentes couleurs qu'ils nous font sentir. Mais en sont-elles la cause unique?

1484. On vient de voir, par ce que nous venons de dire (1480 et 1481), qu'il y a les mêmes apparences de couleurs dans différentes épaisseurs : ce ne sont donc pas les épaisseurs seules qui sont les causes de ces apparences : il faut donc qu'il s'y joigne quelqu'autre cause. Pourquoi n'y joindroit-on pas, comme nous l'avons dit ci-dessus (1220), la figure de chacune des particules des corps, et la contexture de leur assemblage, d'où doivent résulter des différences dans leur porosité, qui feroient que l'un admettroit dans ses pores une lumière d'une couleur, et l'autre une lumière d'une autre couleur? car les lumières de différentes couleurs doivent avoir des figures différentes: et ce seroient alors des particules de lumière qui, étant comme encadrées dans les pores des corps, seroient capables de recevoir et de rendre à des particules de lumière semblables le mouvement qui leur est propre, et nous feroient ainsi appercevoir les couleurs. Ainsi la chochenille teint en rouge les surfaces qu'elle enduit; et un verre rouge fait paroître de cette couleur les objets qu'on voit au travers; parce que les parties de l'une sont comme des éponges qui s'abreuvent aisément de lumière rouge, et la réfléchissent avec énergie; et que les pores alignés de l'autre reçoivent facilement des suites de particules de lumière rubrifique, et les transmettent avec autant de facilité. Il faudroit de plus convenir que les pores des corps sans couleur ou limpides, tels que la neige, l'eau, le verre, etc. sont capables de recevoir des lumières de tous les ordres, et par-là,

de réfléchir ou de transmettre toutes les espèces, soit qu'elles arrivent ensemble ou séparément à leur surface.

1485. Tout cela prouve de plus en plus ce que nous avons dit ci-dessus (1407 et 1418), que les couleurs ne tiennent point à la nature des corps, mais qu'elles appartiennent invariablement à la lumière; puisque le même corps les perd et les reprend successivement avec tant de facilité. On sait que, si à du sirop de violettes étendu d'eau on mêle quelques gouttes d'acide nitrique, il devient rouge : si l'on y mêle quelques gouttes de carbonate de potasse, il devient vert. Si à une dissolution de sulfate de cuivre, on ajoute quelques gouttes d'ammoniaque, elle devient d'un très-beau bleu; si sur ce mélange ainsi coloré on verse un peu d'acide nitrique, il perd sa couleur, et ainsi de plusieurs autres mélanges analogues, bien connus des chimistes. Tous ces changemens ne peuvent venir que de ce qu'une liqueur atténue les parties de l'autre en les divisant, ou les grossit en leur unissant les siennes; ce qui ne peut guère avoir lieu, sans que la figure des parties soit changée, et par conséquent celle des pores de la masse, d'où résulte une réflexion ou une transmission d'une couleur différente. L'action seule de la lumière produit aussi de ces changemens : c'est elle qui occasionne le vert des campagnes, en rendant les feuilles des plantes propres à réfléchir la couleur verte en plus grande abondance qu'aucune autre. En effet, une plante couverte d'un corps opaque, ne prend point de verdure; si on la découvre, elle devient verte; si on la couvre de nouveau, elle perd sa verdure.

1486. Il y a des corps capables de transmettre une couleur, et d'en réflechir une autre; tel est l'or, qui paroît jaune par réflexion, et bleu-verdâtre par transparence. Cela vient sans doute de ce que sa surface est propre à réfléchir le jaune, et de ce que ses pores ne peuvent transmettre que le bleu mêlé d'un peu de vert.

1487. Quand un corps est de nature à ne réfléchir que des rayons d'une certaine couleur, s'il n'est éclairé qu'avec une lumière d'une autre couleur, ou il n'en réfléchit point, n'étant pas propre à lui rendre le mouvement qui lui convient, ou il en réfléchit une partie, sans rien changer à sa couleur, et paroît, en conséquence, de la couleur du rayon qui l'éclaire (1418). Donc les couleurs appartiennent à la lumière, et non pas aux corps qui nous les font sentir.

1488. Il y a des corps qui transmettent facilement la lumière, et lui donnent un libre passage; d'autres ne lui permettent pas de passer outre, l'arrêtent ou la réfléchissent. On appelle les premiers *corps transparens*, et les autres *corps opaques*. D'où vient cette différence? *Newton* (*Traité d'Optique*, *liv.* 2, *part.* 3, *prop.* 2, *pag.* 287) prétend, et je crois, avec raison, que l'opacité des corps vient de la multitude des réfractions et des réflexions qui ont lieu dans leurs parties intérieures. Selon lui, entre les parties des corps opaques, et entre celles des corps colorés, il y a plusieurs espaces, ou vides, ou remplis de milieux d'une densité différente de celle de ces corps. La lumière ne peut donc pas traverser ces parties, sans éprouver un grand nombre de réfractions et de reflexions, qui l'empêchent de se propager en lignes droites.

droites. D'où il suit que la principale cause de l'opacité est ou la discontinuité des parties des corps opaques, ou la différente densité des parties qui les composent.

1489. Car il y a des liqueurs transparentes qui, si on les mêle ensemble, deviennent opaques, parce qu'elles ont des densités et des pouvoirs réfringens différens : telles sont l'eau et l'huile essentielle de térébenthine. Séparément, ces deux liqueurs sont très-transparentes : si on les mêle ensemble, le mélange devient opaque et paroît d'un blanc mat. C'est pour cette raison que les brouillards troublent la transparence de l'air.

1490. De même, il y a des corps opaques qui deviennent transparens, si on remplit leurs pores d'une substance dont la densité égale, ou du moins approche beaucoup de celle des parties de ces corps. C'est ce qui arrive à du papier que l'on mouille, ou que l'on imbibe d'huile. Lorsque ce papier étoit sec, ses pores étoient remplis d'air, dont la densité est très-différente de celle des parties qui composent le papier; en le mouillant d'eau ou d'huile, on chasse l'air de ses pores, et on les remplit d'eau ou d'huile, qui sont des substances dont la densité approche beaucoup plus de celle des parties du papier, que ne le fait la densité de l'air dont ses pores étoient d'abord remplis. Dans le premier cas, la lumière éprouve donc plusieurs réfractions et réflexions, qui n'ont pas lieu, ou du moins très-peu dans le second.

1491. C'est pour ces raisons, selon *Newton*, que le liége, le papier, le bois, etc. sont des corps opaques; et qu'au contraire, le verre, le diamant, etc.

sont des corps transparens. La raison, selon lui, est que les parties voisines, dans le verre et le diamant, sont de la même densité; de sorte que l'attraction, qui cause la réfraction (1296 *et suiv.*), étant égale de tous les côtés, les rayons de lumière n'y subissent ni réfractions, ni réflexions; et ceux qui entrent dans la première surface de ces corps, continuent leur chemin sans inflexion jusqu'à l'autre surface, excepté le petit nombre de ceux qui heurtent les parties solides. Au contraire, les parties voisines dans le bois, le liége, le papier, diffèrent beaucoup en densité (1490); de sorte que l'attraction y étant fort inégale, les rayons y doivent éprouver un grand nombre de réfractions et de réflexions, et ne peuvent, par conséquent, passer à travers ces corps en lignes droites.

1492. Les corps noirs sont les plus propres à intercepter la lumière : c'est pourquoi les astronomes font usage de verres enfumés ou de verres noirs pour observer le soleil. L'astre paroît alors d'un rouge-orangé; parce que le rouge et le jaune, qui sont les couleurs les plus fortes (1574), pénètrent des épaisseurs qui arrêtent les autres couleurs.

C'est par cette dernière raison que le soleil, regardé au travers d'un brouillard ou d'un nuage mince, paroît d'un rouge tirant sur l'orangé.

1493. Un moyen sûr d'intercepter toute lumière avec des corps transparens, c'est de lui en opposer deux, de couleurs primitives, un peu éloignées l'une de l'autre; tels qu'un rouge et un vert. Celui des deux qui se présente le premier à la lumière, ne laisse passer qu'une couleur que l'autre ne peut transmettre : tous deux ensemble produisent donc l'opacité parfaite.

CHAPITRE XV.

De la Vision des Objets.

1494. La vision des objets est l'idée que nous concevons d'eux, en conséquence des impressions qu'ils font sur nos yeux par le moyen de la lumière. C'est donc l'action de l'ame par laquelle nous appercevons les objets visibles, à l'occasion des impressions qu'ils font sur l'organe de la vue.

1495. La manière dont l'ame juge des objets à l'occasion de ces impressions, est trop métaphysique pour que nous nous en occupions. Nous allons rendre raison de ce qu'il y a de physique dans la vision : nous laisserons le reste à expliquer aux métaphysiciens ; ils s'en tireront comme ils pourront.

1496. L'œil est l'organe destiné à recevoir les impressions de la lumière. Tant qu'il est bien sain, il peut suffire à tous nos besoins : mais s'il devient malade, ou que nous exigions de lui ce qu'il ne peut pas faire seul, l'art vient à son secours en lui fournissant des instrumens propres à remédier à ces défauts.

1497. Nous pouvons donc distinguer deux sortes de visions, savoir, la vision naturelle, qui est celle qui se fait par le moyen des yeux seuls ; et la vision artificielle, qui est celle qui est aidée ou augmentée par les instrumens d'optique.

De la Vision naturelle.

1498. Les phénomènes de la vision et la manière dont elle s'exécute, sont un des points les plus importans de la physique. Tout ce que *Newton* et d'autres ont découvert sur la nature de la lumière et des couleurs, sur les loix de la réflexion, de la réfraction et de l'inflexion des rayons, se rapporte à cette théorie. Mais, pour rendre raison de ces phénomènes, il faut bien connoître l'organe, ou du moins les parties de cet organe au moyen desquelles ils s'exécutent.

1499. L'œil est un globe composé de plusieurs parties, dont les unes sont plus ou moins fermes, et représentent une espèce de coque formée par l'assemblage de différentes couches membraneuses, appelées *tuniques* ou *membranes*. Les autres parties sont plus ou moins fluides : elles sont renfermées dans les intervalles compris entre ces membranes : on les nomme *humeurs*.

1500. L'œil est situé dans cette cavité osseuse de la tête, qu'on nomme *orbite*, et dont la figure approche de celle d'un cône. Il est couvert en devant par les paupières, chacune desquelles est bordée d'une rangée de petits poils assez roides, appelés *cils*. Ces paupières sont deux prolongemens de la peau, bordés dans leurs extrémités d'un cartilage nommé *tarse*, et garnis dans toute leur étendue des muscles qui servent à les mouvoir.

1501. Le globe de l'œil se trouve joint aux paupières par une membrane mince et naturellement blanche, qu'on appelle *conjonctive* ou *albuginée*, et vulgairement *blanc de l'œil*. Cette membrane est

attachée par une de ses extrémités à la circonférence de la cornée transparente (1506), et par l'autre aux bords des paupières; elle est, outre cela, attachée par sa partie moyenne au bord de l'orbite (1500). Cette membrane tapisse tout l'intérieur des paupières et la partie antérieure de la tunique de l'œil, nommée *cornée opaque* (1506).

1502. On trouve entre l'orbite et le globe de l'œil ses muscles, ses vaisseaux et quantité de graisse qui facilite ses mouvemens. Les muscles de l'œil sont au nombre de six, savoir, quatre droits et deux obliques. Le premier des droits, qui est en-dessus, sert à relever l'œil, et est appelé, à cause de cela, *muscle releveur* ou *superbe :* le second, qui est en-dessous, et antagoniste au premier, sert à abaisser l'œil; on le nomme *abaisseur* ou *humble :* le troisième, qui est du côté intérieur de l'œil, sert à faire tourner l'œil vers le nez, et s'appelle *adducteur*, ou *liseur*, ou *buveur ;* parce que, lorsqu'on lit ou qu'on boit, on tourne les deux yeux vers le nez; le quatrième, qui est du côté extérieur, et dont l'usage est de faire tourner l'œil du côté opposé au nez, se nomme *abducteur* ou *dédaigneux*, parce qu'on tourne l'œil ainsi lorsqu'on regarde quelqu'un avec mépris. Quand ces quatre muscles agissent successivement et de suite, ils font faire à l'œil un mouvement en rond; et quand ils agissent tous ensemble et de concert, ils tendent à applatir l'œil, et à le rendre moins convexe.

1503. Le premier des muscles obliques de l'œil est connu sous le nom de *grand oblique* ou *grand trochléateur*, et sert à faire faire à l'œil certains mouvemens qui expriment les yeux doux. Le second se nomme *petit oblique* ou *petit trochléateur*, et fait

faire à l'œil ces mouvemens qui témoignent de l'indignation. Ces deux muscles agissant ensemble et de concert, servent à porter en avant le globe de l'œil, à l'alonger et le rendre plus convexe. Et il est probable que, quand les six muscles agissent tous à la fois, ils obligent le globe de l'œil à s'applatir, et le rendent par-là moins convexe.

1504. Les quatre muscles droits (1502) ont leur attache fixe dans le fond de l'orbite (1500), à la circonférence du trou par où passe le nerf optique (1507), et qu'on appelle pour cela *trou optique*; ils ont leur attache mobile au bord antérieur de la cornée opaque (1506). Le grand oblique (1503) a son attache fixe au fond de l'orbite; passe ensuite son tendon par un anneau cartilagineux, nommé *trochlée*, situé du côté du grand angle de l'œil au bord de l'orbite, et va se terminer à la partie postérieure du globe, où il a son attache mobile. Le petit oblique a son attache fixe au bord inférieur de l'orbite du côté du petit angle, et son attache mobile à la partie postérieure du globe.

1505. Nous avons dit (1499) que le globe de l'œil est composé de membranes et d'humeurs. On distingue ses membranes en communes et en propres : les communes sont la cornée, l'uvée et la rétine; les propres sont l'arachnoïde et l'hyaloïde. Il y a trois sortes d'humeurs, savoir, l'humeur aqueuse, l'humeur cristalline et l'humeur vitrée.

1506. La cornée FE*ef*F (*fig.* 251) renferme toutes les parties qui composent le globe de l'œil : cette membrane est transparente en-devant, et opaque dans le reste de son étendue. On nomme sa por-

tion transparente F *f*, *cornée transparente ;* et sa portion opaque F E *ef*, *cornée opaque* ou *sclérotique.*

1507. La seconde membrane K H G *g h k*, qui est appelée *uvée*, est percée en-devant d'un trou rond A, nommé *pupille* ou *prunelle :* ce trou est bordé d'un cercle peint de différentes couleurs ; c'est pourquoi on lui a donné le nom d'*iris.* Au-delà de ce cercle se voit une ligne blanche circulaire, que l'on nomme *ligament ciliaire.* La pupille A peut se dilater par l'action des fibres longitudinales A *b* (*fig.* 252) : ou se rétrécir par la contraction des fibres circulaires *c c c*, qui se remarquent à la face postérieure de l'iris. La portion de l'uvée H G *g h* (*fig.* 251) comprise depuis le ligament ciliaire jusqu'au nerf optique N, et connue sous le nom de *choroïde*, est composée de deux lames, dont l'intérieure se nomme *membrane de Ruysch.* Cette lame, vis-à-vis le ligament ciliaire, se prolonge en s'avançant sur la portion antérieure de l'humeur vitrée (1511), joignant le cristallin (1510) ; et c'est le prolongement plissé B B de cette membrane que l'on nomme *productions ciliaires.*

1508. La troisième membrane L L L est nommée *rétine ;* elle tapisse la face interne de la membrane de Ruysch, et s'avance jusqu'au cristallin C *n* C, où elle se termine. Elle paroît n'être qu'une matière blanchâtre, et presque transparente, à-peu-près semblable à celle du pain à chanter mouillé ; mais étant lavée dans l'eau, elle ressemble à une toile très-fine garnie de vaisseaux. Elle est formée par l'épanouissement du nerf optique N ; et plusieurs anatomistes la regardent comme l'organe immédiat de la vision : cepen-

dant d'autres prétendent que l'organe immédiat est la membrane de Ruysch (1507).

1509. Les humeurs de l'œil sont, comme nous l'avons dit (1505), au nombre de trois. La première ou la plus antérieure est nommée *humeur aqueuse :* elle occupe l'espace qui est entre la cornée transparente (1506) et l'iris (1507), et de plus celui qu'on dit se trouver entre la partie postérieure de l'iris et le cristallin C*n*C, auxquels espaces on a donné le nom de *chambre antérieure de l'œil*, et qui communiquent ensemble par la pupille A. Ce qu'on appelle *chambre postérieure de l'œil*, est l'espace dans lequel sont contenues les deux autres humeurs; savoir, la cristalline (1510), et la vitrée (1511).

1510. La seconde humeur C*n*C, qui est nommée *humeur cristalline*, ou simplement le *cristallin*, est située immédiatement après l'humeur aqueuse, derrière l'iris (1507), et vis-à-vis la prunelle A. Elle a une consistance assez ferme : sa figure est lenticulaire, ayant cependant plus de convexité dans sa partie postérieure *n*, que dans sa partie antérieure. Plusieurs anatomistes pensent que cette humeur est renfermée dans une enveloppe ou membrane particulière, aussi transparente qu'elle, qu'ils ont nommée *arachnoïde* (1505).

1511. La troisième humeur, nommée *humeur vitrée*, est contenue dans tout le reste de la capacité intérieure du globe de l'œil LLL *n*, et occupe, comme l'on voit, plus des trois quarts de cette capacité. On la nomme *vitrée*, parce qu'on la compare, par sa transparence, à une masse de verre. Elle est creusée dans sa partie antérieure; et c'est dans cette

cavité, communément appelée le *chaton de l'humeur vitrée*, qu'est reçue la convexité postérieure C *n* C du cristallin (1510). La membrane dans laquelle cette humeur est contenue, et qu'on appelle *hyaloïde* (1505), est double : elle forme plusieurs cellules ; et c'est dans la duplicature de cette membrane qu'est logé le cristallin (1510).

1512. Ces trois humeurs ne sont pas de même densité. L'humeur aqueuse (1509) qui a à-peu-près celle de l'eau, est moins dense que les deux autres : l'humeur cristalline (1510) est la plus dense des trois ; l'humeur vitrée (1511) étant plus dense que l'humeur aqueuse, est moins dense que l'humeur cristalline. Ces notions vont nous servir pour faire voir la route de la lumière dans la vision des objets.

1513. L'œil se trouve garanti des injures extérieures, non seulement par la cavité osseuse, appelée *orbite* (1500), dans laquelle il est renfermé, mais encore par les deux paupières, dont les bords sont toujours tendus par des cartilages ; ce qui rend leur application plus exacte.

1514. On donne aux cils (1500) l'usage d'arrêter, pendant la veille, les petits corps qui voltigent dans l'air, et qui pourroient ternir la cornée transparente (1506).

1515. Quand aux muscles de l'œil (1502 *et suivants*), ils servent en général à le tourner différemment vers les objets que nous regardons ; ce qu'ils font d'autant plus aisément, que la figure ronde du globe de l'œil, la mollesse de la graisse qui l'entoure, et la flexibilité des nerfs qui le retiennent, le dis-

posent beaucoup à céder à la moindre action de ses muscles.

1516. Quant aux membranes de l'œil, leur usage est d'en contenir les humeurs (1505); et celui des humeurs est de modifier les rayons de lumière de façon à les réunir sur la rétine (1508), pour y faire les impressions nécessaires pour exciter cette sensation qu'on nomme *vision*. Voyons maintenant comment cela s'exécute.

1517. On doit concevoir que de chaque point d'un objet éclairant ou éclairé A (*fig.* 255) part un nombre indéfini de rayons de lumière *r*, *r*, *r*, qui sont lancés ou réfléchis dans tous les sens, et vers chaque point de l'espace environnant (1188). Ceux d'entr'eux qui tombent sur la cornée transparente CC, laquelle répond à la prunelle *p*, forment, par leur arrangement, une pyramide ou un cône CAC, dont le sommet A est du côté de l'objet, et la base CC est appuyée sur la cornée transparente. Comme nous n'appercevons les objets qu'au moyen de l'impression que font ces rayons de lumière sur la rétine, s'ils alloient y porter la base de la pyramide, ils y feroient de larges et faibles impressions, qui se confondroient avec celles des points voisins; différens points de l'objet se feroient donc sentir sur la même partie de l'organe, et la vision seroit par-là très-confuse. Pour obvier à cela, et pour que ces rayons fassent sur la rétine les impressions suffisantes pour rendre la vision forte et distincte, il est nécessaire que ces rayons se convertissent en un autre cône opposé au premier par sa base, et dont le sommet aille toucher le fond de l'œil; c'est-à-dire,

qu'il faut que ces rayons A C, A C, ainsi que les intermédiaires, en traversant les humeurs de l'œil, s'inclinent les uns vers les autres, de façon à converger tous ensemble précisément sur la rétine, comme en *a*. Or, voici comment cela s'opère.

1518. Ces rayons, avant de parvenir à la rétine, souffrent trois réfractions ; la première, en passant de l'air dans l'humeur aqueuse; la seconde, en passant de l'humeur aqueuse dans le cristallin; et la troisième, en passant du cristallin dans l'humeur vitrée. Pour bien entendre ceci, supposons l'objet A (*fig.* 254) envoyant à l'œil trois rayons de lumière A B, A F, A L. Je dis que par le moyen des trois réfractions que deux de ces rayons A F, A L souffriront, en traversant les trois humeurs de l'œil, les trois rayons iront se réunir sur la rétine au point *a*.

1519 Pour le concevoir, rappelons-nous ce que nous avons dit ci-dessus, en établissant les principes de dioptrique: 1°. un rayon de lumière passant perpendiculairement d'un milieu dans un autre, ne souffre aucune réfraction, de quelque densité que soit le milieu dans lequel il entre (1284) : 2°. un rayon de lumière passant obliquement d'un milieu plus rare dans un plus dense, se réfracte en s'approchant de la perpendiculaire (1285 et 1288): 3°. un rayon de lumière passant obliquement d'un milieu plus dense dans un plus rare, se réfracte en s'éloignant de la perpendiculaire (1288). Ainsi le rayon AB, passant perpendiculairement de l'air dans toutes les humeurs de l'œil, doit se rendre en droite ligne sur la rétine au point *a*. Mais les rayons A F, A L, passant obliquement de l'air dans l'humeur aqueuse,

qui est plus dense que l'air (1512), doivent nécessairement se réfracter en s'approchant, l'un de la ligne S F, et l'autre de la ligne S L, qui sont les perpendiculaires à la surface non-seulement de la cornée transparente F B L, mais encore de l'humeur aqueuse qu'elle contient, puisque ces lignes partent du point S, centre de la convexité de ces surfaces. Cette première réfraction les fait donc arriver, l'un au point K, et l'autre au point I; ce qui les faisant approcher l'un de l'autre, les rend convergens.

1520. Par la même raison, ces deux rayons A F K, A L I, passant obliquement de l'humeur aqueuse dans le cristallin, qui est plus dense que l'humeur aqueuse (1512), doivent aussi se réfracter en s'approchant, l'un de la ligne P K, et l'autre de la ligne P I, qui sont les perpendiculaires à la convexité antérieure K I du cristallin K I N M; puisque ces lignes partent du point P, centre de cette convexité. Cette seconde réfraction les fait donc arriver, l'un au point M, et l'autre au point N; ce qui, les faisant approcher l'un de l'autre, les rend plus convergens qu'ils ne l'étoient.

1521. Par la raison contraire, les deux rayons A F K M, A L I N, passant obliquement du cristallin dans l'humeur vitrée, qui est moins dense que le cristallin (1512), doivent se réfracter en s'éloignant, l'un de la ligne O M, et l'autre de la ligne O N, qui sont les perpendiculaires à la convexité postérieure M N du cristallin K I N M, et en même temps à la concavité de l'humeur vitrée, dans laquelle est logée cette convexité du cristallin; puisque ces lignes partent du point O, centre de cette convexité et de cette

concavité. Or cette troisième réfraction, en les faisant s'éloigner de ces perpendiculaires, les rapproche encore l'un de l'autre ; ce qui leur donne le degré de convergence nécessaire pour qu'ils aillent se réunir sur la rétine au point *a* avec le rayon A B *a*. Voilà donc les deux cônes F A L, F *a* L opposés par leurs bases, que nous avons dit (1517) être nécessaires pour rendre la vision forte et distincte ; puisque leur impression sur le point *a* est faite avec toute la lumière qui peut passer par la prunelle K I, et qui est rassemblée dans un si petit espace, que cette impression ne pourroit pas anticiper sur les impressions que feroient les points voisins, s'il y en avoit.

1522. En effet, supposons la flèche ADB (*fig.* 255) envoyant de chacun de ses points éclairés de pyramides de lumière A M C, D *e i*, B C N, etc. sur la cornée transparente M N ; toutes ces pyramides se croisent dans la prunelle C (1206 et 1207). Pour plus de clarté, ne faisons attention qu'aux axes A C, D C, B C de ces pyramides, qui sont des rayons simples : le rayon D C arrivera sur la rétine au point *d*; le rayon A C arrivera au point *a*, et le rayon B C arrivera au point *b*. D'après ce que nous venons de dire (1519, 1520 et 1521), il est clair que les rayons qui composent la pyramide D *e i*, souffriront, en traversant les humeurs de l'œil, des réfractions qui les feront converger précisément au point *d*, où ils peindront l'image du milieu de la flèche : par des raisons semblables, les rayons qui composent la pyramide A M C, souffrant les mêmes réfractions, iront converger précisément au point *a*, où ils peindront l'image de la pointe de la flèche; et les rayons qui

composent la pyramide B C N, iront converger précisément au point *b*, où ils peindront l'image de l'autre extrémité de la flèche; il en sera de même de toutes les autres pyramides, qui, partant des différens points éclairés de l'objet, placés entre A et D, ainsi qu'entre D et B, viendront appuyer leurs bases sur l'œil : elles iront converger sur la rétine, et y peindre l'image du point de l'objet d'où elles partent; et cela dans un ordre relatif à celui qu'observent les deux pyramides extrêmes A M C, B C N, dont nous venons de parler; ce qui placera l'image de la flèche sur la rétine dans une situation renversée.

1523. Puisque les images des objets se peignent sur la rétine dans une situation renversée, pourquoi donc les voyons-nous dans une situation droite? En voici la raison. Nous voyons toujours l'objet dans la direction du rayon, ou, ce qui est la même chose, dans la direction de l'axe de la pyramide qui nous en apporte l'image (1207) : ainsi l'œil verra la pointe de la flèche (laquelle est peinte dans le bas de l'œil) dans la direction *a* A, et par conséquent en haut; il verra au contraire l'autre extrémité de la flèche (laquelle est peinte dans le haut de l'œil) dans la direction *b* B, et par conséquent en bas : donc il verra la flèche dans une situation droite, quoique son image soit peinte sur la rétine dans une situation renversée.

1524. Les humeurs des yeux sont donc capables de rassembler dans un point les rayons qui composent chaque pyramide. Mais ce point est d'autant plus loin, que les rayons incidens sont plus divergens; car alors ils sont moins disposés à se réunir : au

contraire, ce point est d'autant plus près, que les rayons incidens sont moins divergens; car ils sont alors plus disposés à se réunir. Supposons que les rayons A *b*, A *d* (*fig.* 256), partant du point A, aient, en arrivant à l'œil *b d* D D, le degré de divergence précisément nécessaire pour qu'en traversant les humeurs de cet œil, ils aillent converger tout juste sur la rétine en *g*; il est évident que, si rien ne change dans l'état de cet œil, des rayons plus divergens, tels que B *b*, B *d*, comme partant d'un point plus près de l'œil que n'est le point A, arriveront au fond de l'œil avant d'être réunis, et n'iroient converger que plus loin, comme, par exemple, en *e*; au contraire, des rayons moins divergens, tels que C *b*, C *d*, comme venant de plus loin, se réuniront avant d'être arrivés au fond de l'œil, par exemple, en *f*. Dans l'un et l'autre cas, la vision seroit confuse, parce qu'ils y feroient des impressions trop larges (1517).

1525. Cependant, quoique la divergence des rayons diminue à mesure que l'objet s'éloigne, et qu'elle augmente à mesure que l'objet se rapproche la vision est distincte à différentes distances. En voici les raisons. 1°. Le globe de l'œil, étant flexible, peut s'applatir par l'action des muscles droits (1502), et s'alonger par l'action des muscles obliques (1503); 2°. par cet applatissement, la cornée et le cristallin s'approchent du fond de l'œil, et la cornée perd de sa convexité; les rayons C *b*, C *d*, trop peu divergens, sont donc moins rompus à cause de leur moindre obliquité d'incidence (1283), et ont en même temps moins de chemin à faire pour atteindre le fond de l'œil; de sorte que le point *f* de leur réunion peut y

arriver. Au contraire, par l'alongement du globe de l'œil, la cornée et le cristallin s'éloignent du fond de l'œil, et la cornée devient plus convexe; les rayons B *b*, B *d*, trop divergens, sont donc plus rompus à cause de leur plus grande obliquité d'incidence, et ont en même-temps plus de chemin à faire pour joindre le fond de l'œil : ce fond peut donc se trouver aussi loin du cristallin que le point *e* de leur convergence.

1526. La cornée transparente *b d* fait portion d'une sphère plus petite que le globe de l'œil; elle est, par conséquent, saillante. Cette saillie fait que nous appercevons des objets placés vers les côtés, que nous ne verrions pas sans elle.

1527. La pupille pouvant se dilater ou se rétrécir à volonté (1507), nous sert à mesurer la quantité de lumière dont nous avons besoin, suivant le plus ou le moins de sensibilité de nos yeux, et suivant les circonstances. Lorsque nous passons d'un endroit fort éclairé dans un endroit qui l'est peu, la pupille se dilate pour recevoir le plus de lumière possible; sans quoi nous ne verrions les objets que quelques momens après; c'est-à-dire, lorsque l'impression de la vive lumière qui avoit affecté nos yeux, seroit diminuée. Au contraire, lorsque nous passons d'un endroit obscur dans un lieu fort éclairé, la pupille se rétrécit, parce qu'alors le trop grand jour nous blesse.

1528. Il est certain que l'image du même objet se peint dans nos deux yeux; et cependant l'objet ne nous paroît pas double. Cela ne vient pas, comme l'ont dit plusieurs auteurs célèbres, de ce que nous ne faisons agir qu'un de nos yeux à-la-fois, et de ce que,

que, de ces deux organes, il y en a toujours un qui se repose. Il est certain qu'on voit des deux yeux le même objet, et que les deux images influent sur la vision et contribuent à la sensation : car on voit mieux et plus fortement des deux yeux qu'avec un seul, ce que l'on peut éprouver en fermant l'un des deux : on se fatigue moins la vue, et l'on juge plus promptement et plus sûrement de ce que l'on regarde. Voici donc comment on peut résoudre cette question.

1529. Soient deux yeux D et G (*fig.* 257) dirigés vers le même objet A B. Les membranes qui tapissent le fond de ces yeux, sont un tissu de fibres qui appartiennent aux nerfs optiques; et il est vraisemblable que, dans les deux yeux d'un même individu, ces membranes se ressemblent, pour l'ordinaire, par le nombre, l'arrangement, et peut-être par le degré de ressort des filets nerveux qui les composent. Cela étant ainsi, dès que les deux yeux D et G se dirigent vers un même objet A B, les images *a b*, *a b*, tombent dans l'un et dans l'autre sur des parties semblables et correspondantes 1, 2; 1, 2, du tissu dont nous venons de parler; et les deux sensations qui en résultent étant, pour ainsi dire, à l'unisson l'une de l'autre, et portées au siége de l'ame par un seul organe, puisque les deux nerfs optiques se réunissent en une seule branche qui va seule au *sensorium;* ces deux sensations, dis-je, ne font naître dans l'ame qu'une seule et même idée, plus forte et mieux terminée que par une seule image, mais toujours identique, à-peu-près comme le son qui frappe les deux oreilles (1028), ou l'odeur qu'on reçoit sur les deux membranes pituitaires.

1530. Il suit de là qu'on doit voir l'objet double, quand les deux images tombent au fond des yeux sur des parties qui ne sont pas analogues ou correspondantes; comme si dans l'œil droit D l'image *a b* tomboit sur la partie 1, 2, tandis que dans l'œil gauche G l'image *a b* du même objet tomberoit sur la partie 2, 3; et c'est en effet ce qui arrive, quand les parties semblables ne se trouvent pas tournées du côté du même objet, comme on peut l'éprouver soi-même, en pressant un peu de côté l'un des deux yeux, pour le détourner.

1531. On a les mêmes apparences, si l'on dirige les deux yeux sur un objet, vis-à-vis duquel en est un autre ou plus près ou plus loin; ce dernier est vu double. Supposons, par exemple, un bâton debout placé à 3 ou 4 mètres (10 ou 12 pieds) de distance: dressez un de vos doigts à 3 décimètres (environ 11 pouces) devant vos yeux; puis regardez le bâton, vous verrez votre doigt double; regardez votre doigt, vous verrez le bâton double.

1532. Nous jugeons de la distance d'un objet par le degré de divergence des rayons qui composent chaque pyramide venant de chaque point (1191); mais nous jugeons plus sûrement de cette distance, lorsque nous dirigeons les deux axes optiques sur l'objet: nous jugeons cette distance à l'endroit où les deux axes se croisent. Un borgne juge donc moins bien les distanoes que ne le fait celui qui jouit de ses deux yeux. On appelle *axe optique*, une ligne droite qui tombe perpendiculairement sur l'œil et passe par son centre; de sorte qu'elle se trouve dans le prolongement de l'axe du globe de l'œil.

1533. Nous jugeons les grandeurs apparentes des objets par les angles visuels (1189). Les grandeurs apparentes d'un objet éloigné sont donc réciproquement comme ses distances ; c'est-à-dire, que, s'il est une fois plus éloigné dans un cas que dans un autre, il paroît une fois plus petit dans le premier cas que dans le second.

1534. Deux ou plusieurs objets vus sous le même angle, et qui ont par conséquent des grandeurs apparentes égales, ont des grandeurs réelles proportionnelles à leurs distances. Ainsi, si un objet A, étant vu sous le même angle sous lequel on voit l'objet B, est à une distance triple de celle de l'objet B, la grandeur réelle de l'objet A est triple de celle de l'objet B. C'est ainsi qu'on a jugé les grosseurs respectives des planètes, lorsqu'on a connu leurs distances.

1535. Mais cette proposition (1534) ne doit être regardée comme vraie, que quand les objets que l'on compare sont l'un et l'autre fort éloignés, quoiqu'à des distances inégales. Car si les objets sont à des distances assez petites de l'œil, leurs grandeurs apparentes ne sont pas jugées proportionnelles aux angles visuels, ni à leurs distances. Un géant de 2 mètres de hauteur, est vu à 4 mètres de distance sous le même angle qu'un nain de 1 mètre, vu à 2 mètres de distance ; cependant le nain est jugé beaucoup plus petit que le géant. Cela vient de ce que, lorsque nous connoissons bien les objets dont nous comparons les grandeurs, cette connoissance influe beaucoup sur notre jugement.

1536. Si l'œil est placé au-dessus d'un plan horizontal, les différentes parties de ce plan paroîtront

s'élever à proportion qu'elles seront plus éloignées, jusqu'à ce qu'enfin elles paroissent de niveau avec l'œil. Car, en s'éloignant, elles paroissent plus rapprochées de l'axe optique (1532); puisque les rayons qu'elles envoient à notre œil, font avec l'axe optique des angles plus aigus que ceux que font avec ce même axe les rayons qui partent des parties qui sont plus près de nous. C'est la raison pour laquelle ceux qui sont sur le rivage de la mer, s'imaginent qu'elle s'élève à proportion qu'ils fixent leur vue à des parties de la mer plus éloignées.

1537. Par la même raison, si l'on place au-dessous de l'œil un nombre quelconque d'objets dans le même plan, les plus éloignés paroîtront les plus élevés; et si ces mêmes objets sont placés au-dessus de l'œil dans un semblable plan, les plus éloignés paroîtront les plus bas.

1538. Les parties les plus éloignées d'un long mur bien droit paroissent, par la même raison, à quelqu'un qui en est peu éloigné, se courber vers lui. De même les parties supérieures des objets élevés, comme, par exemple, de hautes tours, paroissent, à quelqu'un qui en est assez près, s'incliner sur lui, et cela quelquefois d'une manière effrayante. Qu'on se couche sur le dos à environ 2 mètres d'une tour élevée, et qu'on en regarde le haut, on appercevra le phénomène dont je parle.

1539. Si la distance entre deux objets visibles forme un angle insensible, ces objets, quoiqu'éloignés l'un de l'autre, paroîtront comme s'ils étoient contigus. D'où il suit que (un corps continu n'étant que le résultat de plusieurs corps contigus), si la distance

entre plusieurs objets visibles n'est apperçue que sous des angles insensibles, tous ces différens corps ne paroîtront qu'un même corps continu. C'est là sans doute la raison pour laquelle l'anneau de Saturne (1765) ne nous paroît qu'un seul corps continu, quoique les astronomes le regardent comme un assemblage d'un grand nombre de petits satellites placés assez proches les uns des autres.

1540. Si l'œil s'avance directement d'un endroit à un autre, sans qu'on s'apperçoive de son mouvement, un objet latéral à droite ou à gauche paroîtra se mouvoir en sens contraire. C'est pour cette raison que, quand on est dans un bateau qui se meut avec beaucoup d'uniformité et sans secousses, le rivage et tous les lieux d'alentour paroissent se mouvoir et fuir, pour ainsi dire, en sens contraire à celui dans lequel ce bateau se meut, et avec une vîtesse égale à celle du bateau. C'est, en effet, une règle générale d'optique que, quand l'œil est mu sans qu'il s'apperçoive de son mouvement, il transporte ce mouvement aux corps extérieurs, et juge qu'ils se meuvent en sens contraire. C'est ainsi que nous attribuons aux corps célestes des mouvemens qui appartiennent réellement à la terre que nous habitons.

1541. Dans la même supposition, savoir que l'œil ne s'apperçoit pas de son mouvement, si l'œil et l'objet se meuvent tous deux sur des lignes parallèles et dans le même sens, mais que le mouvement de l'œil soit plus rapide que celui de l'objet, l'objet paroîtra se mouvoir en arrière.

1542. Si l'on fixe deux ou plusieurs objets éloignés, qui se meuvent avec des vîtesses égales, et

qu'un troisième soit en repos, les objets qui se meuvent réellement paroîtront fixes, et celui qui est en repos paroîtra se mouvoir en sens contraire. Ainsi, quand des nuages, placés devant la lune, sont emportés rapidement et qu'on les fixe, et que leurs parties paroissent toujours conserver entr'elles leurs situations respectives, il semble que la lune va en sens contraire. Cela vient de ce que l'œil, qui regarde les nuages, les suit machinalement, et par-là les croit fixes : s'il regardoit la lune, il appercevroit le mouvement des nuages.

1543. Si le centre de la prunelle, ou ce qui est la même chose, l'axe optique (1532) se trouve exactement vis-à-vis ou dans la direction d'une ligne droite, cette ligne ne paroîtra que comme un point ; parce que, dans ce cas-là, l'œil n'en peut voir que l'extrémité.

1544. Si l'œil est placé dans le plan d'une surface, de manière qu'il n'y ait qu'une ligne du périmètre qui puisse former son image sur la rétine, cette surface paroîtra comme une ligne ; parce qu'on n'en peu voir que le bord.

1545. Si un solide est opposé directement à l'œil, de manière qu'il ne puisse recevoir des rayons que du plan d'une de ses surfaces, ce solide aura l'apparence d'une surface ; parce que, dans ce cas-là, l'œil ne peut voir qu'une de ses faces.

1546. Une arc éloigné, vu par un œil qui est dans le même plan, n'aura l'apparence que d'une ligne droite ; parce que tous ces points paroîtront également éloignés (1211) ; on n'appercevra donc pas sa courbure (1214).

1547. Une sphère, vue à quelque distance, paroît comme un cercle, parce que toutes ses parties nous paroissant également éclairées, nous paroissent également éloignées (1211). Aussi la lune et le soleil nous paroissent des plans, quoique ce soient des globes.

1548. Les figures angulaires paroissent rondes dans un certain éloignement, parce qu'alors, ne les voyant qu'imparfaitement, nous n'appercevons pas les angles.

1549. Si l'œil regarde obliquement le centre d'un cercle éloigné, ce cercle paroît ovale; parce que le diamètre perdendiculaire à l'œil est vu en raccourci; c'est-à-dire, que les rayons partant de ses extrémités forment à l'œil un angle d'autant plus aigu, que l'obliquité est plus grande : au lieu que le diamètre parallèle aux deux yeux est vu dans toute son étendue. C'est pour cela qu'en certains cas, nous voyons à l'anneau de Saturne une figure elliptique, ou à-peu-près (1767).

Ce sont-là les principaux phénomènes de la vision, relativement aux grandeurs et aux figures, soit réelles, soit apparentes des corps. Voyons maintenant comment nous appercevons les couleurs de chaque objet.

1550. Les couleurs, dans le sens de la vue, sont les idées particulières qui naissent ou se réveillent en nous, à l'occasion des impressions qui se font sur l'organe, par les différentes espèces de lumière. Or il est probable que les particules de chacune de ces espèces de lumière diffèrent des autres par la masse (52), la grandeur, la figure, et le degré de vîtesse de leur mouvement (1373) : elles doivent donc faire sur l'organe de la vue des impressions différentes, comme le

font les différens corps sur l'organe du toucher : une partie sphérique n'affecte pas notre toucher, comme le fait une partie cubique, triangulaire, etc. Les impressions que font sur l'organe de la vue les différentes espèces de couleurs, étant différentes, les sensations doivent l'être de même.

1551. Ces idées de couleurs se réveillent ou subsistent en nous indépendamment des causes, si l'organe reçoit ou conserve une impression semblable à celle qui les fait naître. C'est pourquoi, après avoir fixé la vue sur un objet éclatant, tel que le soleil, on continue de le voir, quoiqu'on ferme les yeux. Si sa couleur n'en est pas une simple (1378), on voit son image successivement sous différentes couleurs ; parce que les différentes espèces de lumière font des impressions plus durables les unes que les autres.

1552. La durée de ces sensations ne laisse pas que d'être sensible : elle a été exactement mesurée par le chevalier d'*Arcy* (*Mémoires de l'Académie des Sciences, ann.* 1765, *pag.* 439). Il résulte de ses expériences, que la durée de ces sensations est de 8 tierces. Il suit de là un phénomène qui, au premier coup-d'œil, doit paroître singulier, mais qui n'en est pas moins réel. Le voici. Si un corps parfaitement noir parcouroit un espace égal à son diamètre en moins de 8 tierces, il pourroit passer devant nos yeux, tournés vers le jour, sans que nous nous en apperçussions, quelque gros qu'il fût, fût-il gros comme la lune, et même plus ; car, dans ce cas-là, la durée de la sensation, faite sur nos yeux par la lumière du jour, seroit plus grande que celle de son passage.

1553. Puisque nous ne pouvons rien voir que par

le moyen de la lumière (1182), et que les corps noirs n'en réfléchissent point, le noir n'étant qu'une privation de lumiere (1429), par quel moyen voyons-nous donc ce qui est noir? Il n'est pas difficile de répondre à cette question. Quand nous avons les yeux fixés sur un corps parfaitement noir, ce n'est pas lui que nous voyons, ce sont les surfaces éclairées ou lumineuses qui l'environnent : la lumière qu'elles nous envoient fait impression sur tout le fond de notre œil, excepté à l'endroit qui répond au corps noir, lequel endroit est figuré comme le corps lui-même. C'est le défaut de sensation en cet endroit qui nous fait juger de la présence du corps noir. La preuve de cela, c'est que nous jugeons de la même manière un corps parfaitement noir ou un trou profond, d'où il ne vient aucune lumière. Si, dans un mur blanc, on fait un trou profond, et qu'on place à côté une morceau de velours bien noir, de la même figure et de la même grandeur que le trou; et qu'ensuite quelqu'un regarde d'un peu loin l'un et l'autre, il ne pourra pas dire sûrement lequel des deux est le trou, parce que tous deux occasionnent le même défaut de sensation.

1554. C'est à-peu-près de cette manière que nous appercevons les ombres, parce que, quand elles sont bien noires, elles ne renvoient aucune lumière. Mais il s'en trouve quelquefois de colorées, comme l'a le premier remarqué *Léonard de Vinci*, habile peintre Italien, mort à Fontainebleau entre les bras de François Ier. Il a consigné son observation dans un ouvrage intitulé : *Traité de la Peinture*, où il est dit (*Chapitre* 328) que, *sur la fin du jour, les ombres des corps produites sur un mur blanc, sont de couleur bleue;* et il a très-bien rendu raison de ce phénomène.

Le mur blanc est éclairé, le soir, par la lumière rougeâtre ou jaunâtre du soleil, et par la lumière azurée du ciel. Si l'on place un corps opaque entre le soleil et le mur, il y produit une ombre; c'est-à-dire, qu'il empêche la lumière solaire d'arriver en cet endroit : mais la lumière azurée du ciel n'y est pas interceptée; elle y paroît donc seule, et elle ne paroît qu'à l'endroit de l'ombre, quoique le reste du mur en soit éclairé; parce que la lumière solaire qui éclaire encore ce reste, étant plus forte, empêche le bleu de paroître. J'ai quelquefois observé ces ombres d'un bleu tirant sur le violet : c'est ce qui arrive lorsque le ciel est très-serein.

1555. Voici un autre phénomène de la vision, qui est singulier, et qui mérite d'être expliqué. Lorsqu'on cligne les yeux, ou qu'on commence à les fermer, ou, mieux encore, lorsqu'on pleure, et qu'on regarde en même-temps une bougie allumée, plusieurs rayons de lumière paroissent être dardés des parties supérieure et inférieure de la flamme, vers les yeux. *De la Hire* a très-bien rendu raison de ce phénomène. Que B (*fig.* 258) soit la flamme d'une bougie : H H et I I, les deux paupières qui, en clignotant, exprimeront l'humeur de l'œil, laquelle adhérant au bord des paupières et à l'œil, comme proche de H et de I, formera une espèce de prisme. La flamme de la bougie B, lançant ses rayons à travers le milieu de la prunelle, se peint renversée (1522) sur la rétine en DOX : mais les autres rayons: comme BA, tombant sur cette humeur triangulaire en H, se rompent comme ceux qui traversent un prisme de verre, et forment, en s'étendant, la queue D L, qui est suspendue à la partie inférieure D de l'image D O X de

la flamme, d'où elle nous paroît par conséquent provenir, et que nous voyons en BM : de même aussi les rayons BC, venant à tomber sur l'humeur triangulaire en I, se rompent comme s'ils traversoient un prisme de verre, et s'étendent de la longueur de X K, en formant une autre queue, qui est suspendue vers la pointe X de l'image D O X de la flamme, d'où elle paroît provenir, et que, de cette manière, nous voyons en BN. Car les directions des impressions qui se font en D L et en X K, et qui nous font voir les rayons BM et BN, se croissent en sortant de la prunelle. La preuve de cela est que, lorsqu'on intercepte les rayons supérieurs B A H L, à l'aide d'un corps opaque P, la queue DL disparoît dans l'œil, et par conséquent les rayons BM qui paroissent dardés par la partie inférieure de la flamme B de la bougie. Mais lorsqu'on intercepte les rayons inférieurs BCIK, la queue XK, qui tient vers la pointe X de l'image DOX de la flamme, disparoît, de même que les rayons BN qui paroissent dardés par la partie supérieure de la flamme B. Comme il se rassemble beaucoup plus d'humeur aux paupières, lorsqu'on pleure, ce phénomène doit se faire alors bien mieux remarquer; c'est en effet ce que l'expérience confirme.

De la Vision artificielle, et des instrumens d'Optique.

1556. Nous venons de voir que nos yeux, tant qu'ils sont sains, suffisent à nos besoins, mais non pas toujours à notre curiosité. Car la vision naturelle, même en supposant les organes bien sains, et assujettie à des conditions, et renfermée dans des limites

assez étroites. S'il se trouve quelque corps opaque entre l'objet et nous, nous ne le voyons point. Si, quoiqu'il n'y ait aucun obstacle, l'objet est trop éloigné, ou trop petit, nous ne le voyons pas non plus. C'est encore pis, si nos yeux sont affoiblis par l'âge ou par quelque autre cause, ou s'ils sont naturellement mal conformés.

1557. L'art a su remédier à une partie de ces inconvéniens, en nous fournissant des instrumens au moyen desquels nous pouvons voir de nouveau les objets qui ont cessé d'être visibles pour nous, appercevoir ceux qui sont cachés à nos regards directs, et même ceux qu'un trop grand éloignement ou une extrême petitesse met hors de la portée de notre vue. Ce sont ces instrumens que nous allons faire connoître, ainsi que leurs usages.

Des Lunettes.

1558. Le défaut le plus ordinaire de la vue, et presque inévitable dans un âge un peu avancé, c'est de ne pouvoir plus distingner les petits objets. Lorsqu'ils sont placés à la distance ordinaire, qui est de 10 ou 12 pouces (environ 3 décimètres), les rayons qui composent chaque faisceau partant de chaque point (1188), se trouvent trop divergens, soit que l'œil se soit applati par l'âge, soit que ses humeurs aient perdu une partie de leur pouvoir réfringent; ils arrivent donc au fond de l'œil avant d'être réunis (1524): si l'on place l'objet plus loin, cela diminue, à la vérité, la divergence des rayons (1188), mais l'objet paroît encore plus petit (1189), et les jets de lumière, partant de chaque point, en deviennent trop rares (1194), et font sur l'œil une trop foible impression.

Pour pouvoir rapprocher l'objet, et ne pas recevoir des rayons trop divergens : on se sert de lunettes, c'est-à-dire, de verres convexes, qui diminuent la divergence des rayons (1355). Les personnes qui ont ce défaut de la vue sont appelées *Presbytes*.

1559. L'invention des lunettes est de la fin du treizième siècle : on l'a attribuée, sans preuves suffisantes, au moine *Roger Bacon*, cordelier d'Oxfort. Voyez sur cela le *Traité d'Optique de Smith*, et l'*Histoire des Mathématiques, de Montucla, tom. I, page* 424. Dans cette même histoire, on prouve que l'inventeur de ces lunettes est probablement un Florentin, nommé *Salvino degli Armati*, mort en 1317, et dont l'épitaphe, qui se lisoit autrefois dans la cathédrale de Florence, lui attribuoit expressément cette invention. *Alessandro di Spina*, de l'Ordre des Frères Prêcheurs, mort à Pise en 1313, les avoit aussi, dit-on, découvertes.

1560. Il est très-singulier que les anciens, qui connoissoient les effets de la réfraction, puisqu'ils se servoient de sphères de verre pour enflammer des corps, n'aient pas connu l'effet des verres lenticulaires pour grossir; mais il est encore plus singulier qu'entre l'invention des lunettes simples, telles que celles dont on se sert pour lire, et qni est d'environ 1300, et l'invention des télescopes dioptriques (1575), ou lunettes d'approche, il se soit écoulé 300 ans; car l'invention de ces derniers est de la fin du seizième siècle.

1561. Un autre défaut de la vue, opposé à celui des presbytes (1558), est de ne pouvoir distinguer les objets que de fort près. Ceux qui ont ce défaut sont

appelés *Myopes*. Où ils ont les humeurs des yeux (1509) trop convexes, ou ces humeurs ont un pouvoir réfringent trop grand, ou le globe de l'œil est trop alongé, et par-là la rétine (1508) est trop éloignée du cristallin (1510). Il arrive de là que les rayons qui composent chaque faisceau partant de chaque point (1188), se trouvent trop peu divergens, ils se réunissent donc avant d'être arrivés au fond de l'œil (1524), comme en *f* (*fig.* 256). Pour donner aux rayons le degré de divergence qui leur manque, on se sert de verres concaves, qui augmentent la divergence des rayons (1365). Ceux qui sont obligés de faire usage de ces verres, voient, à la vérité, les objets plus petits que nature (1366), mais plus nettement et mieux terminés.

Des Polémoscopes.

1562. Le polémoscope est un instrument par le moyen duquel nous pouvons voir des objets cachés à nos regards directs. La principale pièce de cet instrument est un miroir incliné V X (*fig.* 259), placé au fond d'une boîte VXY, ouverte vis-à-vis du miroir, qui renvoie l'image de l'objet SPRT à l'œil Y du spectateur, qui ne peut pas le voir sans l'instrument, à cause des obstacles qu'on suppose entre cet objet et l'œil. Cet instrument a été inventé en 1637, par *Hévélius*, qui l'a nommé *polémoscope*, des mots grecs Πόλεμος, *combat* et σκέωτομαι, *je vois*, parce qu'on peut s'en servir à la guerre, sur-tout dans les siéges, pour voir ce qui se passe dans le camp de l'ennemi.

1563. On fera d'un télescope dioptrique (1574), un polémoscope capable de rapprocher les objets, en lui ajoutant une boîte quarrée DCEF (*fig.* 260) qui

porte, sur un de ses côtés, le tuyau portant l'objectif AB (1579), lequel tuyau fait un angle droit avec le corps de l'instrument; et qu'entre le verre objectif AB et l'oculaire G (1579), on dispose dans la boîte un miroir plan K, qui soit incliné de 45 degrés à l'objectif et aux oculaires, et que l'image réfléchie par le miroir K soit au foyer (1357) du verre oculaire G. Par ce moyen, les objets situés vis-à-vis l'objectif AB, paroîtront vis-à-vis l'oculaire G dans la direction GC, de même que si, n'y ayant point le miroir K, l'objectif G, l'oculaire AB et les objets étoient dans une même ligne droite. On ajoute quelquefois un appareil à-peu-près semblable aux lunettes d'opéra. Avec une lunette ainsi construite, on peut voir une personne dans la loge voisine, lorsqu'on paroît en regarder une autre dans la loge vis à-vis.

Des Optiques.

1564. *Un* optique est une boîte dans laquelle des objets assez éclairés se font voir sous des images amplifiées et dans l'éloignement, par le moyen de miroirs et de verres convexes. La construction de ces boîtes se varie beaucoup : on en fait avec un ou plusieurs miroirs plans (1238); on en fait avec des miroirs concaves (1252); mais cela se réduit toujours à l'essentiel, que voici. Dans une boîte, dont la coupe est représentée (*fig.* 259, n°. 2), et qui est fermée de tous les côtés, excepté de A en I, on place, dans la partie supérienre, un miroir plan D *d*, incliné au fond de la boîte de 45 degrés, et dans un trou fait en E, vers le milieu de la largeur d'un des côtés de la boîte, un verre lenticulaire (1355), dont la longueur

du foyer des rayons parallèles (1357) égale à-peu-près celle des deux lignes E L et L c, prises ensemble. Si le fond et les côtés de la boîte sont couverts de différens objets, les rayons de lumière qui en partent (1188), et qui tombent sur le miroir *D d*, sont réflechis au verre lenticulaire E, devant lequel l'œil étant placé, apperçoit les images de tous ces objets amplifiées (1355), dans l'éloignement (1356) et dans la situation horizontale E *e*. Les deux premiers effets résultent des propriétés des verres convexes (1355 et 1356); et le troisième vient des propriétés des miroirs plans (1238). Les points *o* et *p* sont donc représentés en O et en P, les points *m* et *n* en M et en N, etc.

1565. Si sur les deux côtés de la boîte, perpendiculaires à celui où est placé le verre convexe E, on place d'autres miroirs plans parallèles à ces côtés, les images seront multipliées presqu'à l'infini; ce qui produit un effet très-agréable. Il faut avoir soin de tourner vers le jour l'ouverture A I. Ces instrumens ne sont que de pure curiosité.

Des Chambres noires.

1566. La chambre notre dont il est ici question est une chambre fermée exactement de toutes parts, excepté un trou pratiqué au volet de la fenêtre, ou à tel autre endroit qu'on voudra, dans lequel est placé un verre convexe ou lenticulaire (1355), destiné à recevoir les rayons de lumière réfléchis ou émanés des objets extérieurs, lesquels vont se peindre dans une situation renversée, mais distinctement et avec

leurs

leurs couleurs naturelles, sur un fond blanc placé au-dedans de la chambre, au foyer du verre (1357).

1567. On prétend que *Jean-Baptiste Porta* est le premier qui ait remarqué l'effet de la chambre noire; c'est-à-dire, qui ait observé que les objets du dehors s'y dessinent comme des ombres sur la muraille ou sur le plancher. (*Voyez* sa *Magie naturelle*, imprimée en 1560.) Aussi lui en attribue-t-on la première invention. En effet, ayant été agréablement surpris de ce phénomène, il l'étudia, le perfectionna, et enseigna le moyen de rendre cette représentation plus distincte, en mettant au trou de la fenêtre un verre lenticulaire, dont le foyer soit à la distance de la muraille ou de tout autre fond blanc.

1568. Depuis ce temps-là, on a fait de ces sortes de chambres portatives, en employant des boîtes construites de différentes façons, dans lesquelles se trouve toujours ce qu'il y a d'essentiel, savoir, un verre lenticulaire qui a son foyer sur un fond blanc, placé dans un lieu obscur. Soit ABCD (*fig.* 259, n°. 3) une boîte plus longue que large, garnie d'un tuyau E fixé à l'un de ses petits côtés, pour recevoir un autre tuyau mobile F, qui porte un verre lenticulaire, dont le foyer est à la distance du fond A C. On voit que, par les rayons qui se croisent en passant dans le verre F, l'objet H se peint renversé (1359) au fond de la boîte, comme sur le mur de la chambre dont on a parlé ci-dessus; et l'on en jugera encore mieux, si ce fond A C, au lieu d'être de bois, est un morceau de glace dépolie, ou un châssis garni d'un papier huilé.

1569. Si l'on veut que l'objet paroisse droit à

quelqu'un qui aura l'œil placé en A, il faut mettre dans la boîte un miroir incliné de 45 degrés, comme G, et que la moitié IKL du couvercle puisse s'ouvrir. Alors si l'on met la glace dépolie ou le châssis de papier huilé sur la partie AL découverte, les rayons réfléchis par le miroir G y peindront l'image de l'objet dans une situation droite pour le spectateur qui aura l'œil en A.

1570. Comme les rayons de lumière qui viennent d'un objet éloigné, sont moins divergens que ceux qui viennent de plus près (1188), il est nécessaire, pour avoir leur image bien distincte, de rendre le tuyau F mobile, afin de pouvoir l'avancer ou le reculer, suivant la distance des objets qu'on veut voir.

1571. Dans la chambre noire, les images sont d'autant plus grandes, que le foyer du verre lenticulaire est plus long; parce que les faisceaux de rayons qui partent des extrémités de l'objet, se resserrent moins en traversant la lentille: car la courbure étant moindre la réfraction est moins forte, puisque l'obliquité d'incidence n'est pas si grande (1285). La grandeur de l'image est à la grandeur de l'objet, comme la distance de l'image au verre F est à la distance de l'objet à ce même verre. Car si *a b* est perpendiculaire à *d e*, les angles en *d* et en *e* sont droits, et les angles en *c* sont égaux, étant opposés au sommet : donc $fg : ab :: ec : dc$. Mais plus le foyer du verre est long, moins la boîte est portative; car elle ne peut pas avoir une longueur moindre que celle du foyer de la lentille. C'est ce qui a fait imaginer à l'abbé *Nollet* une chambre noire qui est très-légère, qui tient peu de place,

qui est aussi aisée à transporter qu'un parapluie, et dont le verre peut avoir un mètre de foyer, et même davantage. C'est une pyramide quarrée (*fig.* 259, n°. 4) formée par quatre tringles de bois A, B, C, D, assemblées par en haut dans un collet E F de même matière, et par en bas, aux quatre coins d'un châssis G H I K : tous ces assemblages sont à charnières, et chaque côté du châssis se brise de même dans son milieu; de sorte qu'en ouvrant quatre crochets pour laisser le jeu libre aux charnières, les montans se plient et se rassemblent comme les baleines d'un parapluie, et à côté d'eux les traverses qui forment le châssis. Le collet E F est percé à jour pour recevoir un tuyau L, garni d'un verre lenticulaire qui a son foyer à la base de la pyramide. La partie L, plus menue que le reste, reçoit un autre collet M N, qui tourne dessus avec liberté, et qui porte à sa circonférence deux petits tuyaux fendus suivant leur longueur, pour faire ressort. Dans ces tuyaux glissent de haut en bas deux petits montans de métal, qui portent une espèce de couvercle O, au fond duquel est ajusté un miroir plan. On fixe aux bords de ce couvercle deux tenons ou pivots diamétralement opposés, qui tournent avec un peu de frottement, dans des trous pratiqués au bout des montans, lesquels sont applatis comme la tête d'un compas. Lorsqu'on a joint le second collet M N au premier E F, on peut donc, sans remuer la pyramide, tourner le miroir vers différens points de l'horizon, et l'incliner autant qu'on le veut, pour chercher les objets qu'on a dessein de voir. Et quand le couvercle O est entièrement baissé, il forme, avec les deux collets, une espèce de boîte qui termine la pyramide, et qui

renferme le verre et le miroir. On couvre de drap vert (ou mieux encore de damas, afin que les vers n'y fassent pas de trous), doublé en dedans de taffetas noir, trois côtés entiers de la machine, et une partie A E B du quatrième. En A B et aux parties inférieures des deux tringles, on attache un rideau de quelque étoffe noire un peu épaisse, dont on puisse se couvrir la tête et les épaules. Il faut aussi que l'étoffe des trois autres côtés déborde par en bas de deux ou trois doigts.

1572. Pour faire usage de cette machine, on la pose sur une table couverte d'une feuille de papier blanc, et l'on se place le dos tourné aux objets P R qu'on veut voir, en avançant un peu sa tête sous le rideau, ayant soin qu'il n'entre pas d'autre jour que celui qui vient par le verre lenticulaire placé dans le tuyau L.

1573. La chambre noire sert à beaucoup d'usages différens. Elle peut servir, comme le polémoscope (1562), dans une place assiégée, à voir ce qui se passe dans le camp de l'ennemi, en alongeant les deux montans de métal, dont nous avons parlé ci-dessus (1571), qui joignent le collet E F au couvercle O, et cela afin de porter le miroir jusqu'au dessus du mur. Elle fournit un spectacle fort amusant, en ce qu'elle présente des images parfaitement semblables aux objets, qu'elle en imite toutes les couleurs, et même les mouvemens, ce qu'aucune autre sorte de représentation ne peut faire. Par le moyen de cet instrument, quelqu'un qui ne sait pas le dessin, pourra néanmoins dessiner les objets avec la plus grande justesse et la dernière exactitude; et celui qui sait dessiner, ou même peindre, pourra

encore, par ce même moyen, se perfectionner dans son art.

Des Télescopes dioptriques.

1574. Les télescopes dioptriques sont des instrumens composés de tuyaux dans lesquels sont combinés des verres, le plus souvent lenticulaires, et quelquefois concaves. Ces instrumens ont la propriété de faire voir distinctement des objets éloignés, qu'on n'appercevoit que confusément, ou même point du tout, à la vue simple. Lorsqu'on fait usage de ces instrumens pour les objets terrestres, on les appelle *lunettes;* mais quand on s'en sert pour les astres, ils sont nommés *télescopes.*

1575. L'invention du télescope est une des plus utiles dont les derniers siècles puissent se vanter: c'est par ce moyen que les merveilles du ciel nous ont été découvertes, et que l'astronomie est arrivée à un degré de perfection, dont les siècles passés n'ont pas pu seulement se former une idée. Il paroît que c'est à Middelbourg en Zélande que les télescopes ont pris naissance, vers l'an 1590, environ 300 ans après la découverte des lunettes, et que leur invention est due à *Zacharie Jansen,* lunettier de Middelbourg. Il paroît aussi que ce n'est pas la sagacité de son esprit qui les lui a fait découvrir, mais le pur hasard; car voici de quelle manière on prétend que s'est faite cette découverte par *Jansen.*

1576. Ses enfans, en jouant dans la boutique de leur père, lui firent remarquer que, quand ils tenoient entre leurs doigts deux verres de lunettes, et qu'ils mettoient ces verres l'un devant l'autre à quelque distance, ils voyoient le coq de leur clocher

beaucoup plus gros que de coutume, et comme s'il étoit tout près d'eux, mais dans une situation renversée. Le père, frappé de cette singularité, s'avisa d'ajuster deux verres debout sur une planche, à l'aide de deux cercles de laiton, qu'on pouvoit approcher ou éloigner l'un de l'autre à volonté. Avec ce secours on voyoit mieux et de plus loin. Bien des curieux vinrent chez le lunettier voir le nouveau phénomène; mais cette invention demeura quelque temps informe et sans utilité. D'autres ouvriers de la même ville firent usage de cette découverte; et par la nouvelle forme qu'ils lui donnèrent, ils s'en approprièrent l'honneur. Voilà la raison pour laquelle on a tant varié d'opinion sur le véritable inventeur du télescope.

1577. On voit que le télescope de *Jansen* étoit composé de deux verres convexes, et qu'il renversoit l'image. Pour la redresser, on s'avisa de mettre, du côté de l'œil, un verre concave à la place du verre convexe : ce qui réussit. De plus, un de ces ouvriers, attentif à l'effet de la lumière, plaça les verres dans un tuyau noirci par-dedans : par-là il détourna et absorba une infinité de rayons de lumière, qui, en se réfléchissant de dessus toutes sortes d'objets, et même de dessus les parois intérieures du tuyau, et n'arrivant pas au point de réunion, mais à côté, brouilloient ou absorboient la principale image. Mais aucun de ces ouvriers n'a fait des télescopes de plus de 15 ou 18 pouces (4 ou 5 décimètres) de long. *Simon Marius* en Allemagne, et *Galilée* en Italie, sont les premiers qui aient fait de longs télescopes, propres pour les observations astronomiques.

1578. Il y a différentes sortes de télescopes diop-

triques, qui diffèrent entr'eux par la forme et par le nombre de leurs verres. Tels sont le *télescope de Galilée;* le *télescope astronomique;* le *télescope aérien;* le *télescope terrestre* ou la *lunette d'approche;* et la *lunette d'approche de nuit.*

Télescope de Galilée.

1579. Le télescope de Galilée n'est autre chose que le télescope inventé à Middelbourg, et appelé *télescope hollandois*, mais perfectionné et fait plus en grand. Il est composé de deux verres, dont l'un, qui est convexe, est placé du côté de l'objet, et porte le nom d'*objectif;* et l'autre, qui est concave, est placé du côté de l'œil, et s'appelle *oculaire.* Ces deux verres sont logés aux deux extrémités d'un tuyau, et éloignés l'un de l'autre d'une distance telle que le foyer réel de l'objectif (qui est le point *f* (*fig.* 228) où se réunissent les rayons) (1355) coïncide avec le foyer virtuel de l'oculaire (1368). Ce dernier verre doit être porté dans un petit tuyau mobile, afin de pouvoir le rapprocher ou l'éloigner de l'objectif, parce que le foyer de l'objectif est d'autant plus court, que les rayons partent d'un point plus éloigné; car ils sont alors moins divergens : *et vice versâ* (1355).

1580. Pour construire un pareil télescope, il faut donc ajuster au bout d'un tuyau un verre objectif plan-convexe ou convexe des deux côtés C (*fig.* 261), et qui soit un segment d'une sphère fort grande; et à l'autre bout un verre oculaire D concave des deux côtés, mais formé d'un segment d'une moindre sphère, et placé à une distance du verre objectif qui soit telle que le foyer virtuel (1368) de ce verre oculaire

réponde à la même distance *a b* que le foyer réel du verre objectif. On voit, par-là, que la distance de l'objectif à l'oculaire doit être la différence qu'il y a entre la distance du foyer de l'objectif et celle du foyer virtuel de l'oculaire. La longueur du télescope se détermine donc, en soustrayant la plus petite de ces distances de la plus grande.

1581. 1°. Supposons que le verre objectif soit plan-convexe, et le verre oculaire plan-concave; la longueur du télescope est la différence qu'il y a entre les diamètres des sphères dont ces verres sont des segmens (1586).

1582. 2°. Si le verre objectif est convexe des deux côtés, et que le verre oculaire soit concave des deux côtés, la longueur du télescope est la différence qu'il y a entre les rayons des sphères dont ces verres font partie.

1583. 3°. Si le verre objectif est convexe des deux côtés, et que le verre oculaire soit plan-concave, la longueur du télescope est la différence qu'il y a entre le rayon de la sphère dont l'objectif est segment, et le diamètre de la sphère dont l'oculaire fait partie.

1584. 4°. Enfin si le verre objectif est plan-convexe, et que le verre oculaire soit concave des deux côtés, la longueur du télescope est la différence qu'il y a entre le diamètre de la sphère dont l'objectif est segment, et le rayon de la sphère dont l'oculaire fait partie.

1585. Supposons, par exemple, que le diamètre de la sphère, dont le verre objectif est segment, soit de 1200 millimètres; et que celui de la sphère, dont le verre oculaire fait partie, soit de 100 millimètres;

la longueur du télescope sera, dans le premier cas, de 1100 millimètres, différence de 1200 à 100; dans le second cas, de 550 millimètres, différence de 600 à 50; dans le troisième cas, de 500 millimètres, différence de 600 à 100; et dans le quatrième cas de 1150 millimètres, différence de 1200 à 50.

1586. Car le foyer des rayons parallèles est, dans un verre plan-convexe, à une distance égale à la longueur du diamètre dont ce verre est segment; et dans un verre convexe des deux côtés, à une distance égale à la longueur du rayon, si les deux convexités sont segmens de la même sphère; mais à une distance égale à la longueur de la moitié des deux rayons pris ensemble, si les deux courbures sont différentes. Or les faisceaux des rayons qui partent de chaque point d'un objet éloigné A B, venant de très-loin, sont presque parallèles, et peuvent être regardés comme tels, lorsqu'ils arrivent au verre objectif C convexe des deux côtés: ils iroient donc se réunir en *a b*, à 600 millimètres du centre de ce verre. Mais on place le verre oculaire D concave des deux côtés, entre l'objectif C et son foyer *a b*, et à une distance telle que son foyer virtuel (1368), qui est de 50 millimètres, coincide précisément avec le foyer *a b* de l'objectif; ce qui, dans ce cas-là, règle la distance des deux verres à 550 millimètres, et ainsi des autres cas.

1587. Ce verre concave rend donc les rayons parallèles, ou même un peu divergens, de convergens qu'ils étoient (1365); et l'œil placé en E, les reçoit, à cet égard, comme s'il n'y avoit point de verres interposés entre l'objet et lui.

1588. Le télescope de Galilée augmente le dia-

mètre apparent de l'objet autant de fois que le foyer réel de l'objectif contient de fois le foyer virtuel de l'oculaire. Avec les courbures que nous avons supposées ci-dessus (1585), le diamètre de l'objet paroîtra donc, dans le premier cas (1581), 12 fois aussi grand qu'à la vue simple; dans le second cas (1582), aussi 12 fois; dans le troisième cas (1583), 6 fois; et dans le quatrième cas (1584), 24 fois. Cela fait voir que, pour que ce télescope grossisse beaucoup, il faut que l'objectif soit plan-convexe, et l'oculaire, concave des deux côtés. Quand on dit qu'un télescope grossit, cela ne veut pas dire qu'il fait voir les objets plus grands que nature; cela n'arrive jamais: cela veut dire seulement qu'il fait voir les objets plus grands qu'ils ne paroissent naturellement, vu leur éloignement; de sorte qu'un télescope qu'on dit qui grossit, par exemple, 12 fois, fait voir les objets d'une grosseur égale à celle dont on les verroit à la vue simple, dans le cas où il seroient 12 fois aussi près de l'œil qu'ils le sont.

1589. Le télescope de Galilée fait voir les objets dans leur situation naturelle; mais il a fort peu de champ, parce que les rayons sortent divergens de l'oculaire (1565); et si cette divergence leur fait occuper un espace plus grand que le diamètre de la prunelle, l'œil ne peut pas même embrasser tout le champ de l'instrument; et il en embrasse d'autant moins qu'il s'éloigne davantage de l'oculaire (1194). L'étendue que la vue embrasse d'un coup-d'œil, augmente donc à mesure que l'œil s'approche de l'oculaire; mais le champ diminue à mesure que le télescope grossit davantage; parce que, pour grossir beaucoup, il faut que l'oculaire soit d'un foyer court, et fasse,

par conséquent, portion d'une petite sphère, laquelle embrasse peu d'étendue. Les lunettes d'opéra sont de petits télescopes de Galilée.

Télescope astronomique.

1590. Le télescope astronomique ne diffère du précédent qu'en ce que son oculaire est convexe, au lieu d'être concave. Il paroît que nous le devons à *Képler*, qui proposa de substituer un oculaire convexe à l'oculaire concave; ce qui, avec la même longueur de l'instrument, et les mêmes courbures des verres, augmente beaucoup l'étendue du champ; parce qu'alors les rayons sortent convergens de l'oculaire (1555); l'œil peut donc plus aisément recevoir ceux qui viennent des extrémités d'un grand objet. Le télescope astronomique, qu'on appelle aussi *télescope de Képler*, est donc composé de deux verres convexes ou plan-convexes, dont l'un sert d'objectif, et l'autre d'oculaire, logés aux deux extrémités d'un tuyau, et éloignés l'un de l'autre d'une distance qui égale la somme des longueurs des foyers de l'objectif et de l'oculaire prises ensemble.

1591. Pour construire un télescope astronomique, il faut donc ajuster au bout d'un tuyau, d'une longueur convenable, un verre objectif plan-convexe, ou convexe des deux côtés C (*fig.* 262), et qui soit segment d'une grande sphère; et à l'autre bout un verre oculaire D, convexe des deux côtés; mais formé de segmens d'une moindre sphère, et placé au-delà du foyer F de l'objectif d'une quantité F D qui égale la longueur du foyer de l'oculaire D; de sorte que les foyers des deux verres C et D coïncident aux mêmes points où se forme l'image *a b* de l'objet.

1592. On voit donc que, comme nous venons de le dire (1590), la distance de l'objectif à l'oculaire doit être la somme des longueurs des foyers de l'objectif et de l'oculaire prises ensemble. C'est cette distance qui détermine la longueur du télescope. Nous avons dit ci-dessus (1586) quelles sont les longueurs des foyers des verres plan-convexes ou convexes des deux côtés.

1593. Supposons donc, 1°. que le verre objectif et le verre oculaire soient tous deux plan-convexes, la longueur du télescope est égale à la somme des diamètres des sphères dont ces deux verres sont des segmens.

1594. 2o. Si le verre objectif et le verre oculaire sont tous deux convexes des deux côtés, la longueur du télescope est égale à la somme des rayons des sphères dont ces verres font partie.

1595. 3°. Si le verre objectif est convexe des deux côtés, et que le verre oculaire soit plan-convexe, la longueur du télescope est égale au rayon de la sphère dont l'objectif fait partie, plus le diamètre de la sphère dont l'oculaire est segment.

1596. 4o. Si le verre objectif est plan-convexe, et que le verre oculaire soit convexe des deux côtés, la longueur du télescope est égale au diamètre de la sphère dont l'objectif est segment, plus le rayon de la sphère dont l'oculaire fait partie.

1597. Supposons, comme nous avons fait ci-dessus (1585) que le diamètre de la sphère, dont le verre objectif est segment, soit de 1200 millimètres, et que celui de la sphère, dont le verre oculaire fait partie, soit de 100 millimètres : la longueur du téles-

cope sera, dans le premier cas, de 1300 millimètres, somme des deux longueurs 1200 et 100; dans le second cas, de 650 millimètres, somme des deux longueurs 600 et 50; dans le troisième cans, de 700 millimètres, somme des deux longueurs 600 et 100; et dans le quatrième cas, de 1250 millimètres, somme des deux longueurs 1200 et 50.

1598. Les faisceaux de rayons, partant de chaque point d'un objet éloigné AB, pouvant être regardés comme parallèles (1586), vont se réunir en F, où ils forment l'image *a b* de l'objet, laquelle est renversée, parce que les rayons qui viennent des extrémités de l'objet, se sont croisés en passant par le verre objectif C (1358). Les rayons qui forment chaque faisceau partant de chaque point, après avoir formé l'image *a b*, deviennent divergens, et sont ensuite rendus presque parallèles par la réfraction qu'ils souffrent en traversant le verre oculaire D (1355), en même temps que les faisceaux sont rendus convergens entr'eux; et l'œil, placé en E, reçoit ces rayons de la même manière que si l'objet lui-même, au lieu de son image, étoit placé au foyer F.

1599. Il résulte de là que l'image *a b* devient l'objet immédiat de la vision; et que l'œil la voit sous l'angle GEH : lequel angle est d'autant plus grand, que le foyer du verre objectif est plus long et celui du verre oculaire plus court.

1600. Car ce télescope augmente le diamètre de l'objet autant de fois que le foyer de l'objectif contient de fois celui de l'oculaire. De sorte que si, comme dans le quatrième cas supposé ci-dessus (1596), le foyer de l'objectif (1586) est 24 fois aussi

long que celui de l'oculaire, le diamètre apparent de l'objet sera augmenté 24 fois; ou, ce qui est la même chose, ce diamètre sera vu par le télescope de la même grandeur qu'il le seroit à la vue simple, si l'objet n'étoit qu'à la vingt-quatrième partie de la distance à laquelle il est (1588).

1601. On peut encore énoncer de la manière suivante, la quantité dont ce télescope grossit : *La grandeur apparente de l'objet, vu par le télescope, est à sa grandeur apparente à la vue simple, comme la distance du foyer de l'objectif est à la distance du foyer de l'oculaire.*

1602. On a donné à ce télescope le nom d'*astronomique*, parce qu'on ne s'en sert que pour les observations astronomiques, par la raison qu'il renverse les images, comme nous l'avons dit ci-dessus (1598). Ce renversement d'images rend ce télescope peu propre pour les objets terrestres, qu'on aime à voir dans leur situation naturelle; ce renversement empêcheroit même souvent de les reconnoître. Il n'en est pas de même des astres qui sont ronds, et qu'il est assez indifférent de voir droits ou renversés. Il faut seulement observer que les mouvemens, qui paroissent alors se faire de gauche à droite, se font réellement de droite à gauche; de même que ceux qui paroissent se faire de haut en bas, se font réellement de bas en haut.

Télescope aérien.

1603. Le télescope aérien est un vrai télescope astronomique, dont le verre objectif et le verre oculaire ne sont pas placés dans le même tuyau, par la

raison que le foyer de l'objectif étant très-distant du verre, cela exigeroit un tuyau très-long, et, par conséquent, très-embarrassant et très-difficile à manier. C'est au célèbre *Huyghens* que nous sommes redevables de ce télescope.

1604. Pour construire un télescope aérien, 1°. on plante perpendiculairement un mât A B (*fig.* 264) de la longueur dont devroit être le tuyau du télescope, et même un peu plus. Avant de l'élever, on l'applanit d'un côté, l'on y attache deux règles parallèles entr'elles, et éloignées l'une de l'autre d'un pouce et demi (40 ½ millimètres); de sorte que l'espace qu'elles laissent entr'elles, forme une espèce de rainure (un peu plus large en dedans qu'en dehors) qui règne presque du haut de ce mat jusqu'en bas. Au haut de ce mât est une petite poulie A, qui tourne sur son axe, et sur laquelle passe une corde sans fin G, de la grosseur du petit doigt ou à-peu-près, et d'une longueur presqu'égale à deux fois celle du mât. Cette corde est garnie d'un morceau de plomb H, dont le poids est égal à celui du verre objectif et de tout l'équipage qui doit le soutenir. Une latte longue de deux pieds (650 millimètres), et formée de manière qu'elle puisse glisser librement, mais sans jeu, le long de la rainure, porte, à son milieu, deux bras de bois L *l*, qui s'éloignent du mât d'un pied (325 millimètres), et qui soutiennent, à angles droits, un autre bras E d'un pied et demi (487 millimètres) de long, lequel porte une espèce de fourchette F.

1605. 2°. On ajuste un verre objectif dans un cylindre I K de 3 pouces (81 millimètres) de long: on fixe ce cylindre sur un bâton fort droit d'un pouce (27 millimètres) d'épaisseur, et qui le déborde de 8

ou 10 pouces (environ 260 millimètres), comme on le voit en *f*. A ce bâton est attachée une boule de cuivre, qui est portée et se meut librement dans une portion de sphère creuse, où elle est emboîtée. Cette portion de sphère est ordinairement faite de deux pièces, que l'on serre ensemble par le moyen d'une vis; ce qui forme une espèce de genou; et afin que le verre objectif puisse être mis en mouvement avec plus de facilité, on y suspend un poids d'environ 5 hectogrammes, avec un gros fil de laiton; de sorte qu'en pliant ce fil d'un côté ou de l'autre, on parvienne facilement à faire rencontrer ensemble les centres de gravité du poids, du verre objectif, et de la boule de cuivre. On attache, au-dessous du bâton *f*, un fil de cuivre élastique, que l'on plie en en-bas, jusqu'à ce que sa pointe soit autant au-dessous du bâton que le centre de la boule; et on lie à cette pointe un fil mince de soie N V.

1606. 3°. On ajuste le verre oculaire dans un cylindre Q fort court, auquel on attache le bâton Q V. A celui-ci pend un petit poids suffisant pour le contrebalancer. Vers Q, on attache une poignée R traversée par un axe, que l'Astronome P C tient à la main; et le bâton Q V, tourné du côté du verre objectif, est attaché au fil de soie V N. Ce fil, après être passé par un trou, qui est au bout du bâton, est roulé sur une petite cheville S fixée au milieu du bâton; de sorte qu'en la tournant, on augmente ou on diminue, comme on veut, la longueur du fil, et par conséquent, la distance de l'objectif à l'oculaire; ce qui équivaut au tuyau mobile (1579).

1607. 4°. Afin que l'Astronome P C puisse tenir

le

le verre oculaire ferme, et le fil bien tendu, il affermit son bras sur l'appui X.

1608. 5°. Enfin, pour écarter la foible lumière qui pourroit fatiguer l'œil, on couvre l'oculaire d'un cercle de laiton, percé au milieu d'un fort petit trou.

1609. On a fait de ces télescopes, dont le verre objectif avoit jusqu'à 100 pieds (environ $32\frac{1}{2}$ mètres) de foyer, et qui étoient capables de grossir beaucoup. *Huyghens*, pour éviter les tâtonnemens dans la construction des télescopes astronomiques, a donné une table des proportions des foyers des verres objectifs et oculaires, dont voici un abrégé.

1610. *Table des proportions des foyers des verres objectifs et oculaires.*

DISTANCE DU FOYER DES VERRES OBJECTIFS	DIAMÈTRE DE L'OUVERTURE.		DISTANCE DU FOYER DES VERRES OCULAIRES.		RAPPORT dans lequel les diamètres apparens des objets sont grossis.
Pieds.	Pouc.	Centièmes de pouce.	Pouc.	Centièmes de pouce.	
1	0	55	0	61	20
2	0	77	0	85	28
3	0	95	1	5	34
4	1	9	1	20	40
5	1	23	1	35	44
6	1	34	1	47	49
7	1	45	1	60	53
8	1	55	1	71	56
9	1	64	1	80	60
10	1	73	1	90	63
15	2	12	2	27	79
20	2	45	2	58	93
25	2	74	2	84	105
30	3	0	3	19	113
40	3	46	3	75	128
50	3	87	4	26	141
60	4	24	4	66	154
70	4	58	5	5	166
80	4	90	5	39	178
90	5	5	5	83	185
100	6	48	6	30	190

Table des proportions des foyers des verres objectifs et oculaires en mesures décimales.

DISTANCE DU FOYER DES VERRES OBJECTIFS. Millimètres.	DIAMÈTRE DE L'OUVERTURE. Millimètres.	DISTANCE DU FOYER DES VERRES OCULAIRES. Millimètres.	RAPPORT dans lequel les diamètres apparens des objets sont grossis.
400	18	20	20
800	25	28	29
1200	31	35	34
1600	36	40	40
2000	41	45	44
2400	44	49	49
2800	48	53	53
3200	51	57	56
3600	54	60	60
4000	57	63	63
6000	70	75	80
8000	81	86	93
10000	91	95	106
12000	100	106	113
16000	115	125	128
20000	129	142	141
24000	141	155	155
28000	152	168	166
32000	163	180	178
36000	168	194	186
40000	182	210	190

1611. Si, dans deux ou plusieurs télescopes, de grandeurs différentes, la proportion entre les foyers du verre objectif et du verre oculaire est la même, ils grossiront également les objets; d'où il sembleroit qu'on devroit conclure qu'il est inutile de faire de grands télescopes. Mais, avec un peu de réflexion,

on se convaincra que cette conséquence n'est pas juste. Car plus le foyer de l'objectif est long, plus celui de l'oculaire peut être proportionnellement court; et, par conséquent, être contenu un plus grand nombre de fois dans celui de l'objectif (1600). En voici la raison : plus l'objectif est grand, plus on peut lui laisser d'ouverture; il reçoit donc plus de rayons; il y a donc dans l'instrument plus de lumière, ce qui permet d'employer un oculaire d'un foyer plus court. Un autre avantage des grands télescopes, est que, plus l'objectif fait portion d'une grande sphère, plus il réunit exactement les rayons; et plus, par conséquent, l'image est distincte; ce qui est l'effet le plus important que puisse produire un télescope. S'il falloit qu'il y eût toujours la même proportion entre les foyers des objectifs et des oculaires, il s'ensuivroit que, puisqu'avec un objectif d'un pied, il faut un oculaire de 61 centièmes de pouce, avec un objectif de 100 pieds il faudroit un oculaire de 61 pouces; et l'on voit par la table d'*Huyghens* (1610), qu'un d'environ 6 pouces suffit; ce qui rend le pouvoir amplifiant environ 10 fois aussi grand.

Télescope terrestre ou Lunette d'approche.

1612. Le télescope terrestre ou la lunette d'approche est, à proprement parler, le télescope astronomique (1590), auquel on a ajouté deux oculaires, afin de redresser l'image. Car nous venons de voir (1598) que le télescope astronomique fait voir les objets renversés; ce qui est tout-à-fait indifférent, quand on observe des corps ronds, tels que sont les corps célestes Mais quand on se sert de cet instrument pour les objets terrestres, on trouve desagréa-

ble de les voir renversés ; c'est pourquoi on a cherché le moyen de redresser l'image.

1613. Pour faire un télescope qui puisse remplir cette vue, il faut d'abord construire l'équivalent d'un télescope astronomique (1591), moyennant le verre objectif C (*fig.* 263) et le verre oculaire D, placés à une distance l'un de l'autre, qui égale la somme des longueurs de leurs foyers (1592), entre lesquels se vient former en F l'image renversée *a b*, comme dans le télescope astronomique (*fig.* 262). Ensuite on place, au-delà du verre oculaire D (*fig.* 263), deux autres oculaires K, L, à des distances les uns des autres, dont chacune égale la somme des longueurs des foyers des deux verres voisins. Alors les rayons divergens qui composent chaque faisceau partant du foyer F, étant devenus parallèles en traversant l'oculaire D (1598), et les faisceaux étant devenus convergens entr'eux, vont se croiser en E ; ensuite continuant leur route, et traversant l'oculaire K, les rayons qui composent chaque faisceau, de parallèles qu'ils sont, deviennent convergens, et vont former en *f* une seconde image *a b* en sens contraire de la première, c'est-à-dire, redressée, laquelle devient l'objet immédiat de la vision, et est apperçue au foyer *f* par l'œil placé en M, comme l'image renversée *a b* (*fig.* 262) est apperçue au foyer F par l'œil placé en E (1598).

1614. Ce télescope ne fait pas voir les objets si clairement que le fait le télescope astronomique ; parce que la lumière a deux verres de plus à traverser, ce qui lui fait perdre de son intensité, à cause des rayons qui sont arrêtés par les parties solides des verres. C'est pourquoi on n'en fait point usage pour

observer les astres, qu'on cherche à voir très-clairement, et qu'il est indifférent de voir droits ou renversés, à cause de leur figure ronde. Il faut seulement observer que, dans ce dernier cas, tous les mouvemens se font en sens contraire de celui dans lequel on les voit; de sorte que ceux qu'on voit se faire de droite à gauche, se font réellement de gauche à droite, ceux qu'on voit se faire de haut en bas, ce font réellement de bas en haut, etc.

1615. Le télescope terrestre grossit les objets dans la même proportion que le fait le télescope astronomique (1600), c'est-à-dire, autant de fois que le foyer du verre objectif contient de fois celui d'un des oculaires, en supposant que les trois oculaires sont segmens de sphères égales; de sorte qu'il grossit précisément de la même quantité que, si ayant supprimé les deux oculaires K, L (*fig.* 263), l'œil se plaçoit en E.

1616. Mais si les trois oculaires D, K, L, avoient des courbures différentes, s'ils étoient segmens de sphères inégales, il faudroit ajouter ensemble les longueurs des foyers de ces trois verres, et diviser le produit par 3. Le quotient de la division seroit la longueur du foyer de l'oculaire, qu'il faudroit comparer à la longueur du foyer de l'objectif, pour savoir combien de fois la première seroit contenue dans la seconde. Ce nombre de fois donneroit le degré de grossissement de l'instrument.

1617. Il suit de ce que nous avons dit ci-dessus (1612), qu'un télescope astronomique peut aisément être changé en télescope terrestre, en y ajoutant deux verres oculaires : et le télescope terrestre en

télescope astronomique, en supprimant deux oculaires; la faculté de grossir demeurant toujours la même (1615).

1618. La construction du télescope terrestre (1613), fait connoître que sa longueur se trouve en ajoutant cinq fois le rayons de la sphère, dont les oculaires sont segmens, au diamètre de la sphère dont l'objectif fait partie, si l'objectif est plan-convexe (1596), ou bien au rayon de cette sphère, si l'objectif est également convexe des deux côtés (1594).

1619. *Huyghens* a observé le premier qu'une chose qui contribue beaucoup à la netteté des images vues par le télescope, tant astronomique que terrestre, c'est de placer à l'endroit F (*fig.* 262) ou *f* (*fig.* 263) où se forme l'image, au-devant de l'oculaire le plus près de l'œil, un diaphragme, c'est-à-dire, un anneau de bois ou de métal, dont l'ouverture soit un peu plus petite que la largeur de l'oculaire. Ce diaphragme arrête tous les rayons irrégulièrement réfractés, qui viendroient altérer la netteté de l'image.

Lunette d'approche de nuit.

1620. On fait, depuis quelques années, en Angleterre, des lunettes d'approche destinées à observer pendant la nuit, qui servent principalement sur mer, pour suivre un vaisseau, reconnoître une côte, l'entrée d'un port, etc.

1621. Ces lunettes, dont la première idée paroît due au *docteur Hoock*, sont composées d'un objectif d'un grand diamètre, afin qu'il puisse recevoir beaucoup de rayons de lumière, et de deux ou de quatre oculaires. Ce grand nombre d'oculaires sert

principalement à diminuer la longueur de ces lunettes sans diminuer le pouvoir amplifiant ; parce que, chacun tendant à réunir les rayons plus près (1355), en en plaçant plusieurs à de petites distances les uns des autres, ils n'équivalent tous ensemble qu'à un seul oculaire d'un foyer plus court : moyennant quoi l'instrument grossit autant, que si son objectif étoit d'un foyer plus long.

1622. Dans ces lunettes on voit les objets renversés. Cet inconvénient est moindre qu'on ne le croiroit d'abord ; parce que, pour l'usage auquel elles sont destinées, il suffit qu'elles puissent faire reconnoître et distinguer sensiblement les masses. De plus, l'habitude de s'en servir doit bientôt diminuer cet inconvénient, ou même le faire disparoître.

Des Télescopes Catadioptriques.

1623. Nous avons vu (1574 *et suiv.*) que les télescopes dioptriques, pour amplifier beaucoup les images doivent être très-long ; ce qui les rend difficiles à manier. De plus, quand on cherche à les faire grossir beaucoup, on court le risque de les faire manquer de clarté et de netteté. C'est ce qui a fait naître l'idée de construire des télescopes de réflexion, c'est-à-dire, composés de miroirs combinés avec des verres : c'est ce qui leur a fait donner le nom de *catadioptriques*. Ces télescopes n'ont pas besoin d'être, à beaucoup près, aussi longs que les télescopes dioptriques, pour grossir autant.

1624. On attribue ordinairement l'invention du télescope catadioptrique à *Newton* ; cependant il n'est pas le premier à qui l'idée en soit venue. Il ne

commença à penser à ce télescope, comme il l'a dit lui-même, qu'en 1666 : et dès 1663, *Jacques Grégory*, géomètre Écossais, avoit donné, dans son *Optica promota*, la description d'un télescope de ce genre. *Cassegrain*, en France, avoit eu aussi, vers le même temps, une idée à-peu-près semblable. Mais, ce qu'on aura peut-être de la peine à croire, c'est que la première idée de ce télescope date d'environ quinze ans auparavant, et appartient incontestablement au *P. Mersenne*, comme le prouve ce qu'il dit dans la *Proposition 7e. de sa Catoptrique*, imprimée en 1651, où il parle de miroirs concaves combinés plusieurs ensemble. « La même composition, dit-il, peut aussi » servir pour faire *un miroir* à voir de loin, et grossir » les espèces comme les lunettes de longue vue ». Si le P. *Mersenne* n'a pas fait exécuter ce télescope, c'est qu'il en fut détourné par *Descartes*, qui lui présenta des difficultés, qui cependant n'existent pas, mais auxquelles il céda

1625. Quoique ce ne soit pas *Newton* qui ait eu la première idée des télescopes catadioptriques, cependant c'est à lui que nous en sommes redevables. C'est le sien qui a été le premier exécuté et publié ; et il en a le mieux vu tous les avantages. Ayant observé, moyennant sa découverte de la décomposition de la lumière, qu'une lentille, quelle que soit sa courbure, ne peut réunir tous les rayons à son foyer, et qu'il y a autant de foyers à la suite les uns des autres qu'il y a d'espèces de rayons différemment réfrangibles (1424), il renonça au projet qu'il avoit eu de perfectionner les télescopes dioptriques, et songea à en faire de catadioptriques (1427).

1626. Il y a differentes sortes de télescopes cata-

dioptriques, qui diffèrent entr'eux par la forme, le nombre et la position de leurs miroirs et de leurs verres. Tels sont le *télescope Newtonien*, le *télescope Grégorien*, le *télescope de Cassegrain*, et le *télescope de Jacques le Maire*.

Télescope Newtonien.

1627. Le télescope Newtonien est composé d'un miroir concave, d'un miroir plan, et d'un verre oculaire convexe. Pour construire un télescope de cette espèce, il faut placer dans le fond d'un tuyau DDDD (*fig.* 265), un grand miroir concave HG de métal, vis-à-vis duquel, et dans son axe, on place un miroir plan KI aussi de métal, d'une figure elliptique, et incliné de 45 degrés à l'axe du télescope. Ce miroir plan doit être situé entre le grand miroir concave et son foyer, et à une distance de ce foyer qui soit égale à la distance du centre de ce petit miroir, au foyer, de l'oculaire *o*, lequel est placé dans un petit tuyau latéral LL, dans la perpendiculaire à l'axe du grand miroir, tirée du centre du petit miroir plan.

1628. Supposons maintenant un objet AB, placé vis-à-vis ce télescopes et à une grande distance. Les rayons qui forment chaque faisceau partant de chaque point de l'objet, venant de très-loin, arrivent presque parallèles (1586); et les faisceaux qui partent des extrémités de l'objet, se croisent en entrant dans le télescope (1206); de sorte que le faisceau AG est celui qui vient du point A de l'objet; et le faisceau BH est celui qui vient du point B de l'objet. Ces rayons qui iroient, après leur réflexion de dessus le grand miroir HG, dessiner une image renversée *ab* de cet objet, au foyer F de ce grand miroir (1255 et

1254), sont reçus par le petit miroir plan KI, et réfléchis vers l'oculaire *o*. Mais les miroirs plans ne changent rien à la disposition des rayons de lumière qu'ils réfléchissent (1223) : l'image en *c d* sera donc renversée, comme elle l'eût été en *a b* : et se trouvant au foyer *f* de l'oculaire *o*, les rayons qui forment chaque faisceau, après les réfractions qu'ils y éprouvent en y entrant et en en sortant, se trouvent à-peu-près parallèles (1355), tandis que les faisceaux, venant de différens points de l'objet, convergent en O où se place l'œil.

1629. Ce télescope renverse donc les images ; mais, comme cela est indifférent pour l'inspection des astres, on s'en sert avec avantage pour les observations astronomiques ; d'autant mieux que, n'ayant qu'un oculaire, il a plus de clarté que ceux qui en ont davantage (1614).

1630. Avec le télescope Newtonien, l'objet est difficile à trouver, parce que l'œil se plaçant sur le côté, n'a pas l'objet dans la direction de son axe. C'est pourquoi on met sur le corps du télescope une petite lunette dioptrique qui a beaucoup de champ, et dont l'axe est parallèle à celui de l'instrument. Cette lunette sert à trouver l'objet qu'on veut observer : aussi l'appelle-t-on un *trouveur*.

1631. L'oculaire du télescope Newtonien, étant placé sur le côté, rend cet instrument très-commode pour observer les astres près du zénith, et même tout-à-fait au zénith ; parce que, même dans le moment où l'instrument est vertical, l'observateur est dans une situation commode ; ce qui n'a pas lieu, lorsqu'on fait usage d'un autre télescope, à l'extrémité duquel l'œil doit se placer.

1632. La quantité dont ce télescope augmente le diamètre apparent de l'objet, est égale au nombre de fois que le foyer du grand miroir contient celui de l'oculaire. Ainsi, si le foyer du grand miroir est de 2 mètres, et que celui de l'oculaire soit de 4 centimètres, l'instrument grossit 50 fois ; c'est-à-dire, que le diamètre apparent de l'objet, vu par le télescope, paroît aussi grand qu'il le paroîtroit à la vue simple, si l'objet n'étoit qu'à la cinquantième partie de la distance à laquelle il est.

Télescope Grégorien.

1633. Le télescope Grégorien est composé de deux miroirs concaves, et deux verres oculaires convexes ou plan-convexes. Pour construire un télescope de cette espèce, il faut placer dans le fond d'un tuyau D D D D (*fig.* 266) un grand miroir concave H G de métal, percé d'un trou à son centre. Vis-à-vis du milieu de ce miroir, et vers l'autre bout du tuyau, on place un second miroir concave I K de métal, parallèle au grand, un peu plus large que le trou qui est au centre du grand miroir, et dont la concavité fait partie d'une sphère beaucoup plus petite que celle sur laquelle est formé le grand miroir. Ce petit miroir I K doit être placé au-delà du foyer *b a* du grand miroir H G, à une distance telle que le foyer du petit miroir soit éloigné du foyer du grand (1224), d'une quantité que l'on trouve par cette proportion : *Le foyer du grand miroir est au foyer du petit miroir, comme le foyer du petit miroir est à l'espace qu'il doit y avoir entre les foyers des deux miroirs.* Supposons, par exemple, que le foyer du grand miroir soit de 540 millimètres, et que le foyer

du petit miroir soit de 90 millimètres, on aura cette proportion, 540 : 90 : : 90 : 15; de sorte que les foyers de ces deux miroirs doivent être éloignés l'un de l'autre de 15 millimètres : ce qui donne la distance d'un miroir à l'autre, de 645 millimètres (23 pouces 10 lignes). A l'extrémité du tuyau D D D D, à laquelle est placé le grand miroir H G, et vis-à-vis le trou qui est au centre de ce miroir, on ajuste un autre tuyau plus petit L M *m l*, dans lequel on place les deux verres oculaires L *l*, M *m*. Comme les distances des foyers varient un peu, suivant que les objets sont plus ou moins éloignés, et, par conséquent, suivant que les rayons qui composent chaque faisceau partant de chaque point de l'objet, sont moins ou plus divergens (1254), il faut que le petit miroir I K soit porté par une tige *g* mobile, afin de pouvoir le rapprocher ou l'éloigner du grand miroir, selon le besoin.

1634. On voit, par cette construction, que le télescope grégorien diffère du newtonien, 1°. en ce que son grand miroir est percé à son centre; 2°. en ce que son petit miroir est concave au lieu d'être plan; 3°. en ce que ce petit miroir est parallèle au grand, au lieu de lui être incliné; 4°. en ce qu'il a deux oculaires au lieu d'un; 5°. en ce que ses oculaires sont placés à l'extrémité du tuyau, et non pas sur le côté.

1635. Supposons maintenant, comme nous avons fait ci-dessus (1628), un objet A B à une grande distance, et que les rayons qui en partent, se croisent en entrant dans l'instrument. Ces rayons A G, B H, sont réfléchis convergens au foyer du grand miroir (1254), où ils vont dessiner l'image *a b* ren-

versée (1259) : après quoi ils vont, en se croisant de nouveau, tomber divergens sur le petit miroir I K; qui les réfléchit convergens vers les oculaires, parce que le point de leur divergence est plus éloigné de ce miroir (1633), que ne l'est son foyer des rayons parallèles (1258). Ces rayons rencontrant l'oculaire L *l*, sont rendus encore plus convergens, et vont dessiner en *c d* une seconde image en sens contraire de la première *a b*, c'est-à-dire, redressée, laquelle devient l'objet immédiat de la vision. Et comme le lieu *c d* de cette image est, par la construction, le foyer du second oculaire M *m*, les rayons qui forment chaque faisceau partant de chaque point, en sortent, à-peu-près parallèles (1355); et les faisceaux deviennent convergens entr'eux : l'œil placé en O voit donc cette image amplifiée, suivant la grandeur de l'angle *n* O *p*.

1636. Le télescope grégorien fait voir l'image dans la même situation que celle de l'objet; mais il la fait voir un peu moins clairement, que ne le fait le télescope newtonien, parce que la lumière a à traverser deux oculaires, au lieu qu'il n'y en a qu'un dans le télescope newtonien.

1637. La quantité dont le télescope grégorien augmente le diamètre apparent de l'objet est égale au quarré du foyer du grand miroir, divisé par le produit du foyer du petit miroir multiplié par le foyer de l'oculaire. Supposons, comme ci-dessus (1633), que le foyer du grand miroir soit de 540 millimètres; que le foyer du petit miroir soit de 90 millimètres; et que le foyer de l'oculaire soit de 50 millimètres. Le quarré de 540 est 291600; le produit de 90 multiplié par 50, est 4500. Si donc l'on di-

vise 291600 par 4500, le quotient 64,8 désigne le nombre de fois que le diamètre apparent de l'objet, vu par ce télescope, est augmenté, savoir, près de 65 fois; c'est-à-dire, que le diamètre apparent de l'objet seroit vu, par le télescope, de la même grandeur qu'il le seroit à la vue simple, si l'objet n'étoit qu'à la soixante-cinquième partie de la distance à laquelle il est.

Télescope de Cassegrain.

1638. Le télescope de *Cassegrain* est composé d'un miroir concave, d'un miroir convexe, et de deux verres oculaires convexes, ou plan-convexes, situés respectivement les uns aux autres, comme le sont les miroirs et les verres dans le télescope grégorien (1635).

1639. Le télescope de *Cassegrain* ressemble donc, à peu de chose près, au télescope grégorien. Il en diffère seulement, 1°. par la forme de son petit miroir, qui est convexe, au lieu que celui du télescope grégorien est concave; 2°. en ce qu'il fait voir l'image renversée (1641); 3°. en ce qu'à sphéricités égales des miroirs, il est plus court d'une quantité égale au double de la longueur du foyer virtuel (1250) du petit miroir convexe. En effet, on conçoit aisément que le petit miroir étant convexe, ne peut réfléchir, vers le premier oculaire L l (*fig.* 266), les rayons encore convergens, qu'autant qu'il les reçoit lui-même plus convergens, puisqu'il diminue leur convergence (1227 et 1229). Or cela ne peut avoir lieu qu'autant que ce petit miroir est placé plus près du grand, qu'il ne le seroit, s'il étoit concave, d'une

quantité egale au double de la longueur de son foyer virtuel.

1640. Ce petit miroir convexe, dans le télescope de *Cassegrain*, doit donc être placé entre le grand miroir concave et son foyer, de manière que le foyer virtuel du petit miroir convexe tombe au même point où doit se trouver le foyer réel du petit miroir concave dans le télescope grégorien; c'est-à-dire, que ce foyer virtuel doit tomber au-delà du foyer *a b* du grand miroir concave H G, d'une quantité que l'on trouve par cette proportion : *Le foyer réel du grand miroir concave est au foyer virtuel du petit miroir convexe, comme ce dernier foyer est à l'intervalle qu'il doit y avoir entre les foyers des deux miroirs.* D'où il suit (ce que nous venons de dire) que lorsque le petit miroir est convexe, le télescope est plus court qu'il ne le seroit, si ce petit miroir étoit concave et de la même sphéricité, d'une quantité égale au double de la longueur du foyer virtuel du petit miroir convexe.

1641. Ce télescope renverse l'image de l'objet; parce que le miroir convexe, qui reçoit les rayons avant qu'ils aient dessiné l'image (1640), les réfléchit sans les obliger de se croiser : l'image, après la seconde réflexion des rayons, se trouve donc dessinée dans le même sens qu'elle l'eût été après la première réflexion.

1642. Le télescope de *Cassegrain* grossit autant et dans la même proportion que le grégorien (1637). Mais pouvant être plus court que ce dernier, en conservant le même pouvoir amplifiant, il peut être employé avec avantage dans l'astronomie, où il est indifférent

différent que les images soient renversées ou non; et où il est important, sur-tout sur mer, que l'instrument soit le plus court possible. Le grand télescope, fait par *D. Noël*, est un télescope de cette espèce.

Télescope de Jacques le Maire.

1643. Le télescope de *Jacques le Maire*, inventé par lui en 1728, est un dérivé du télescope Newtonien (1627); cependant il en diffère en ce qu'il n'est composé que d'un miroir concave, et d'un verre oculaire convexe : le petit miroir plan y est supprimé. Pour construire un télescope de cette espèce, il faut placer, dans le fond d'un tuyau DDDD (*fig.* 267), un grand miroir concave HG de métal, attaché au tuyau par une charnière vers G, et qui puisse s'incliner plus ou moins vers H par le moyen d'une vis I qui traverse le fond du tuyau. A ce tuyau on ajoute la partie EF, de même épaisseur que le tuyau, et qui va en s'élargissant vers F. A l'extrémité FD de cette partie ajoutée est placé le petit tuyau L qui porte l'oculaire *m n*. Ce petit tuyau L est mobile, de même que le miroir HG, et peut, par un mouvement de côté, s'éloigner ou se rapprocher du corps du grand tuyau DD, afin de se placer convenablement aux différens degrés d'inclinaison qu'on peut donner au miroir HG. Il y a un grand nombre d'autres pièces, dont les unes sont destinées à rendre ces mouvemens doux, exacts et commodes à exécuter, et les autres à diriger l'instrument vers l'objet qu'on veut observer. Si l'on est curieux de les connoître, on en trouvera la description et la figure dans le recueil des *Machines approuvées par l'Acad. tom.* 6, *pag.* 61.

1644. Supposons maintenant, comme nous avons fait ci-dessus (1628), un objet AB à une grande distance, et que les rayons qui en partent se croisent en entrant dans l'instrument. Ces rayons AG, BH, sont réfléchis convergens au foyer du grand miroir (1254), et vont (à cause de l'inclinaison de ce miroir à l'axe du grand tuyau) dans la partie EF, dessiner l'image *a b* renversée (1259). Et comme le lieu *a b* de cette image est, par la construction, le lieu du foyer de l'oculaire *m n*, les rayons qui forment chaque faisceau partant de chaque point, en sortent à-peu-près parallèles (1555), et les faisceaux deviennent convergens vers O, où l'œil se plaçant, voit cette image amplifiée. On voit par-là qu'il faut tourner le dos à l'objet qu'on veut observer.

1645. Le télescope de *le Maire* fait, de même que celui de *Newton*, voir l'image renversée; mais l'image est plus nette et dessinée avec une plus belle lumière, parce que ces rayons y souffrent une réflexion de moins que dans le télescope Newtonien : ce qui permet d'y employer un oculaire d'un foyer plus court, et le fait, par conséquent, grossir davantage. Car ce télescope amplifie l'image dans la même proportion que celui de *Newton* (1632); c'est-à-dire, qu'il augmente le diamètre apparent de l'objet d'une quantité qui égale le nombre de fois que le foyer du miroir contient celui de l'oculaire.

1646. *Herschell* a construit, il y a quelques années, un télescope de cette espèce, dont il a tiré un grand avantage : c'est par son moyen qu'il a découvert huit Satellites à sa planète, ainsi que deux nouveaux Satellites à Saturne (2622). Mais on voit, par

ce que nous avons dit ci-dessus (1645), qu'on a eu tort de le regarder, comme on l'a fait pendant quelque temps, comme l'inventeur de ce télescope; puisque cet instrument avoit été inventé, exécuté et publié par *Jacques le Maire*, environ cinquante-cinq ans auparavant que *Herschell* en eût l'idée. Il ne faut cependant pas lui en ôter la gloire; car les télescopes qu'il a construits sont de beaucoup supérieurs à ceux qui existoient auparavant, par leur grandeur, leur pouvoir amplifiant, et la beauté de leur exécution.

Des Lunettes achromatiques.

1647. Les lunettes achromatiques sont celles desquelles le verre objectif ne laisse appercevoir aucune couleur de l'iris, quelque grand que soit le diamètre de son ouverture. Il peut donc y avoir alors beaucoup de lumière dans l'instrument, ce qui permet d'y employer un oculaire d'un foyer très-court, d'où résulte une plus grande amplification de l'image (1600). Car ces lunettes sont de vrais télescopes astronomiques (1590); mais de beaucoup supérieurs à ceux qui les ont précédés.

1648. Dans les télescopes dioptriques ordinaires (1574), on voit, vers les bords de l'objectif, des couleurs très-fortes qui résultent de la séparation des rayons (1381), par la réfraction qu'ils éprouvent en traversant les bords de ce verre, et qui obligent de rétrécir beaucoup son ouverture, afin d'avoir l'image un peu nette. Depuis quelques années on a imaginé, pour corriger ce défaut, de composer, de différentes substances, les objectifs de ces télescopes.

1649. La première trace de cette ingénieuse idée se trouve dans un Mémoire de *Euler* (*Mém. de*

l'Acad. de Berlin, tom. III). Voici ce qu'il en disoit en 1747 : « Il est reconnu, parmi les Astronomes, » que les verres objectifs dont on se sert ordinaire- » ment dans les lunettes, ont ce défaut qu'ils produi- » sent une infinité de foyers, selon les différens de- » grés de réfrangibilité des rayons (1424). Les rayons » rouges, souffrant la plus petite réfraction en passant » par le verre, forment leur foyer à une plus grande » distance du verre que les rayons violets, dont la ré- » fraction est la plus grande (1395).... Ce n'est donc » pas dans un point que les rayons rompus se ras- » semblent, comme on le suppose en Optique; mais » le foyer sera étendu sur un espace qui sera d'au- » tant plus considérable, que le foyer de l'objectif » sera plus long.... *Newton* (*Traité d'Opt. pag.* 114) » a déjà soupçonné que des objectifs composés de deux » verres, dont l'espace intermédiaire seroit rempli » d'eau, pouvoient servir à perfectionner les lunettes » par rapport à l'aberration de sphéricité des verres » (1427); mais il ne paroît pas qu'il eût l'idée que, » par ce même moyen, il seroit possible de diminuer » l'espace dans lequel les foyers des divers rayons » se trouvent dispersés. Or il m'a paru d'abord très- » probable qu'une certaine combinaison de différens » corps transparens pourroit être capable de remé- » dier à cet inconvénient; et je suis persuadé que, » *dans nos yeux, les différentes humeurs* (1509) *s'y* » *trouvent arrangées, en sorte qu'il n'en résulte au-* » *cune diffusion du foyer* ». C'est ainsi que la considération de ce qui se passe dans nos yeux conduisoit *Euler* à chercher un moyen d'imiter la Nature, et lui faisoit espérer d'y parvenir par la combinaison des fluides entre deux verres. On ne peut pas s'em-

pêcher de trouver sa réflexion raisonnable ; car nos yeux sont vraiment achromatiques.

1650. En conséquence *Euler* chercha les dimensions des objectifs formés de verre et d'eau, de manière à pouvoir imiter la combinaison qui se trouve naturellement dans l'œil. Mais ces tentatives furent inutiles : les lunettes qui furent exécutées sur ces principes, ne réussirent point, parce que l'eau et le verre, relativement à leurs réfractions moyennes, ne produisent pas des différences assez sensibles dans les réfrangibilités des couleurs.

1651. Dès que le mémoire de *Euler* parut, feu *Dollond* le père, célèbre Opticien de Londres, voulut en tirer parti. Après qu'on eut disputé quelque temps sur cette matière, et sur-tout après qu'en 1755, *Klingenstierna* eut fait abandonner à *Dollond* quelques opinions erronées auxquelles il étoit fort attaché, cet habile Artiste fit des tentatives qui réussirent. Il conçut l'espérance de mieux réussir dans son projet, en combinant des verres de différentes qualités pour former un objectif, qu'en y employant du verre et de l'eau, par la raison que nous venons de dire ci-dessus (1650.). Un verre très-blanc et fort transparent, appelé communément *Flint-glass* ou *Cristal d'Angleterre*, est celui qui, suivant *Dollond*, donne les iris les plus remarquables, et, par conséquent, celui dans lequel la réfraction du rouge diffère le plus de celle du violet : un verre verdâtre, connu en Angleterre sous le nom de *Crown-glass*, et qui ressemble beaucoup en qualité à notre verre commun, est, au contraire, celui qui donne la moindre différence dans la réfrangibilité des rayons rougès et des violets. Ces deux sortes de verres sont les deux matières dont

Dollond imagina de se servir, après avoir mesuré leurs qualités réfringentes, et les avoir trouvées comme de 3 à 2.

1652. Les premières lunettes qui furent exécutées par *Dollond*, eurent un très-grand succès. Les Géomètres s'exercèrent bientôt à chercher les courbures les plus propres à corriger les aberrations de réfrangibilité. Mais comme il est rare de trouver plusieurs morceaux de verre d'une densité parfaitement égale, quoique de la même espèce, on ne peut pas toujours employer les courbures indiquées par les Géomètres : on est obligé de les varier. C'est pourquoi les Artistes sont contraints de tâtonner, s'ils veulent perfectionner leurs ouvrages.

1653. Nous nous contenterons donc de rapporter ici les dimensions de deux lunettes excellentes, d'environ 43 pouces (1164 millimètres) de foyer, faites par *Dollond*, et qui sont fort supérieures à tout ce qu'on avoit fait dans ce gence. L'objectif est composé de trois verres, dont un est de *Flint-glass*, concave des deux côtés, placés entre deux lentilles de verre commun ou de *Crown-glass*, convexes des deux côtés. Les six rayons des courbures, à commencer par celui de la surface extérieure de l'objectif, sont, dans une de ces lunettes, de 315, 450, 235, 315, 320 et 320 lignes (710,586 m.mt.; 1015,125 m.mt.; 530,120 m.mt.; 710,586 m.mt.; 721,865 m.mt. et 721,865 m.mt.). Dans l'autre lunette, les six rayons sont de 315, 400, 238, 290, 316 316 lig. (710,526 m.mt.; 902,332 m.mt.; 536,887 m.mt.; 654,190 m.mt.; 712,842 m.mt., et 712,842 m.mt.) Cette dernière a 43 pouces 5 lignes (1175,287 m.mt.) de

foyer. Ces lunettes grossissent depuis 100 jusqu'à 200 fois, suivant les différens équipages qu'on y applique, et produisent conséquemment plus d'effet que les anciennes lunettes de 25 à 30 pieds (8 à 10 mètres).

1654. On peut voir (*fig.* 268) la coupe transversale d'un objectif de lunette achromatique, composé de trois verres, savoir, d'un concave 3, 4, de *Flint-glass*, placé entre deux convexes 1, 2 et 5, 6, de *Crown-glass*. Les courbures étant différentes, il est aisé de voir qu'il doit rester entre chaque verre un espace rempli d'air.

1655. Les rayons de lumière émanés de l'objet tombant sur la surface 1, souffrent deux réfractions, l'une en entrant, et l'autre en sortant de ce premier verre (1555), qui est de *Crown-glass*, et les rayons colorés dont ils sont composés (1373 et 1374), se séparent et deviennent apparens : ensuite traversant les deux surfaces 3 et 4 du verre concave, qui est de *Flint-glass*, ils sont rompus en sens contraire (1365), mais plus fortement qu'ils ne l'avoient été par le premier verre, parce que le second a plus de densité (1281) et plus de courbure (1283); de sorte que les couleurs sont encore apparentes; mais elles ont changé de position, celles qui étoient en haut se trouvent en bas, et *vice versâ*. Enfin ces rayons, en traversant les deux surfaces 5 et 6 du troisième verre, qui est de *Crown-glass*, sont rompus de nouveau en sens contraire de ce qu'a fait le *Flint-glass*, mais d'une quantité égale à ce que le *Flint-glass* avoit fait de trop; d'où il résulte une réunion parfaite des rayons, et, par conséquent, une cessation de couleur (1387).

1656. On a fait aussi de ces objectifs de deux

verres seulement; l'un 1, 2 (*fig.* 269) de *Crown-glass*, et l'autre 3, 4 de *Flint-glass*, dont les rayons de courbures extérieures 1 et 4 sont beaucoup plus longs que ceux des courbures intérieures 2 et 3. Ces objectifs sont beaucoup plus aisés à exécuter que ceux à trois verres, mais ils ne sont pas aussi bons, à beaucoup près, ni aussi parfaitement achromatiques.

1657. On a aussi trouvé le moyen de corriger, et même d'anéantir, pour ainsi dire, les imperfections du poli des surfaces intérieures, en plaçant entre les verres, au lieu d'air, une substance très-transparente, et dont la densité approche beaucoup plus de celle des verres que ne le fait la densité de l'air. La meilleure de ces substances est du mastic en larmes, qui, étant bien choisi, est très-transparent, et s'applique parfaitement bien aux verres. Nous devons cette invention à *Putois*, ingénieur en instrumens d'optique, brévèté du roi, sur la présentation qu'en a faite à Sa Majesté l'Académie des Sciences.

Des Microscopes.

1658. Les microscopes sont des instrumens qui servent à faire voir très-gros des objets en eux-mêmes fort petits, par le moyen d'une ou de plusieurs lentilles (1355) combinées ensemble, et qui, par-là, font appercevoir à la vue, d'une manière distincte, des objets en eux-mêmes imperceptibles. Les microscopes nous aident donc à voir de près, comme les télescorps (1574) nous aident à regarder au loin. Autant ceux-ci facilitent les progrès de l'astronomie (1575),

autant ceux-là sont avantageux à l'histoire naturelle et à la physique.

1659. Il y a trois sortes de microscopes; savoir, le microscope simple, le microscope composé, et le microscope solaire.

Microscope simple.

1660. Le microscope simple n'est composé que d'une simple lentille (1355) très-convexe, et d'un foyer très-court. On enchâsse cette lentille dans une lame de métal, que l'on soutient d'une manière quelconque, pourvu qu'elle soit commode pour l'observateur; et l'objet est ordinairement porté par une pointe déliée ou sur quelque autre support. Supposons donc la petite lentille O (*fig.* 270) enchâssée dans la lame de métal E F: l'œil se place en O tout près de cette lentille; et l'objet *a b*, qu'on suppose très-petit, est placé un peu plus près de la lentille que la distance de son foyer (1357); de sorte que les faisceaux de rayons qui viennent des extrémités *a*, *b*, sortent de la lentille presque parallèles, avec seulement le petit degré de divergence nécessaire, et tel qu'il seroit, si ces faisceaux de rayons partoient de deux points A, B, beaucoup plus éloignés. L'objet paroît donc en A B (1191), et beaucoup plus grand; et la grandeur A B de l'image est à la grandeur *a b* de l'objet, comme la distance O D de la lentille à l'image est à la distance O *c* de la lentille à l'objet; c'est-à-dire, à-peu-près comme la distance à laquelle on verroit distinctement l'objet, est à la longueur du foyer de la lentille O.

1661. Une lentille d'un foyer très-court forme donc un microscope, non-seulement parce qu'elle

amplifie l'image de l'objet, mais encore parce qu'elle la fait voir avec plus de clarté; car le même objet vu par le même trou vide, et à la même distance, paroît presque aussi grand que quand on le regarde au travers de la lentille. Supposons, par exemple, l'œil placé en C (*fig.* 271), vis-à-vis et tout près d'un très-petit trou percé à jour dans la lame de métal D D, et qu'il regarde par-là un objet A B placé à une très-petite distance; 1°. Il le verra distinctement, parce que le trou étant fort petit, l'œil ne peut recevoir de chaque point visible de l'objet, pour ainsi dire, qu'un rayon simple, et non pas un faisceau de rayons divergens (1190), qui auroient besoin d'un certain degré de réfraction pour se réunir justement sur la rétine. 2°. La grandeur apparente de cet objet sera considérablement augmentée, car il sera apperçu sous l'angle A C B, beaucoup plus ouvert que l'angle E C F, que l'on suppose être celui sous lequel ce même objet pourroit être vu distinctement à la vue simple.

1662. Mais, si vis-à-vis du trou *c* (que l'on suppose plus grand que le trou C) on place une lentille *d d* qui ait son foyer tant soit peu plus loin que la distance *a b*, laquelle est égale à celle à laquelle l'objet A B étoit supposé placé vis-à-vis le trou C, les rayons simples *a c*, *b c*, formeront, en arrivant à la lentille, l'angle *a c b*, égale à A C B, mais il y aura de plus les rayons collatéraux qui, divergeant des points *a*, *b*, etc. et se réfractant dans la lentille, pourront entrer dans l'œil, et faire voir l'objet plus clairement. Un microscope amplifie donc l'image, parce qu'on peut, par son moyen, voir distinctement un objet placé à une très-petite distance de l'œil; et cette amplification est relative à la distance à laquelle on voit l'objet au

travers de la lentille, comparée à la distance de l'objet vu à la vue simple. De sorte que, si par le moyen d'un microscope, on peut voir un objet 500 fois plus près qu'à la vue simple, son diamètre sera vu 500 fois plus grand.

1663. Il suit de là que plus les lentilles sont petites et convexes, ou, ce qui est la même chose, plus leur foyer est court, plus elles sont capables d'amplifier les images. *Henri Barker* a calculé une table dans laquelle est exprimée, en nombre, la quantité dont est grossi un objet vu au travers des lentilles de microscopes. Voici cette table.

1664. *Table de la force des verres convexes dont on fait usage dans les Microscopes simples, selon la distance de leur foyer, calculée sur une échelle d'un pouce divisé en 100 parties, en supposant la vue simple à la distance de 8 pouces.*

FOYER DE LA LENTILLE.		AUGMENTATION DU DIAMÈTRE DE L'OBJET.	AUGMENTATION DE LA SURFACE DE L'OBJET.	AUGMENTATION DU CUBE DE L'OBJET.
		fois.	fois.	fois.
$\frac{1}{2}$ ou 50		16	256	4096
$\frac{4}{10}$ 40		20	400	8000
$\frac{3}{10}$ 30		26	676	17576
$\frac{1}{5}$ 20		40	1600	64000
15		53	2809	148877
14	Centièmes d'un pouce.	57	3249	185193
13		61	3721	226981
12		66	4356	287496
11		72	5184	373248
$\frac{1}{10}$ 10		80	6400	512000
9		88	7744	681472
8		100	10000	1000000
7		114	12996	1481544
6		133	17689	2352637
$\frac{1}{20}$ 5		160	25600	4096000
$\frac{1}{25}$ 4		200	40000	8000000
3		266	70756	18821096
$\frac{1}{50}$ 2		490	160000	64000000
1		800	640000	512000000

Table de la force des verres convexes dont on fait usage dans les Microscopes simples, selon la distance de leur foyer, calculée en millimètres et en parties décimales de millimètre, en supposant la vue simple à la distance de 216,559590 m.mt.

FOYER DE LA LENTILLE.		AUGMENTATION DU DIAMÈTRE DE L'OBJET.	AUGMENTATION DE LA SURFACE DE L'OBJET.	AUGMENTATION DU CUBE DE L'OBJET.
		fois.	fois.	fois.
13,53497	Millimètres, et parties décimales du millimètre.	16	256	4096
10,82798		20	400	8000
8,12098		26	676	17576
5,41399		40	1600	64000
4,06049		53	2809	148877
3,78979		57	3249	185193
3,51909		61	3721	226981
3,24839		66	4356	287496
2,97769		72	5184	373248
2,70699		80	6400	512000
2,43630		88	7744	681472
2,16560		100	10000	1000000
1,89490		114	12996	1481544
1,62420		133	17689	2352637
1,35350		160	25600	4096000
1,08280		200	40000	8000000
0,81210		266	70756	18821096
0,54140		490	160000	64000000
0,27070		800	640000	512000000

1665. Si donc nous supposons une lentille dont le foyer soit éloigné de son centre de la dixième partie d'un pouce; comme il y a dans 8 pouces 80 dixièmes de pouces, avec cette lentille on verra cet objet 80 fois aussi près qu'à la vue simple (1660); on le verra donc 80 fois aussi long et 80 fois aussi large qu'il paroît aux yeux nus. Et comme 80 multipliés

par 80 produisent 6400, la surface de l'objet sera vue 6400 fois aussi grande. Si l'on veut savoir combien le cube ou la solidité apparente de l'objet est augmentée, on multipliera la surface par le diamètre, c'est-à-dire, 6400 par 80; ce qui donnera 512000 : c'est là la quantité dont le volume total de l'objet sera augmenté.

Microscope composé.

1666. Pour que le microscope simple puisse grossir beaucoup, il faut que sa lentille ait un foyer très-court : cela fait qu'il ne peut pas s'appliquer commodément à toutes sortes d'objets. C'est pour cette raison qu'on a imaginé les microscopes composés, qui, avec des lentilles d'un foyer plus long, produisent presque autant d'effet que les simples; et de plus, leur *champ* est beaucoup plus grand.

1667. Le microscope composé est un assemblage de plusieurs lentilles convexes, placées dans des tuyaux, dont une, qui sert d'objectif, est d'un foyer court; et les autres, qui servent d'oculaires, sont d'un foyer plus long. Voyons quelle est la route de la lumière dans un de ces instrumens à trois verres, qui est celui qui est aujourd'hui le plus en usage.

1668. On place l'objet AB (*fig.* 272) un peu plus loin de la lentille objective *c* que la longueur de son foyer, et on l'éclaire suffisamment. Les faisceaux de rayons divergens, qui partent de tous les points visibles (1190), tels que A*de*, B*de*, etc. et qui couvrent toute la surface de la lentille, après avoir souffert dans cette lentille les deux réfractions ordinaires, les rayons qui composent chacun d'eux, deviennent un peu convergens (1558), comme *dg*, *ef*, etc. tandis

que les faisceaux demeurent divergens entre eux; et si ces faisceaux n'étoient arrêtés, les rayons dont ils sont composés iroient, en se réunissant, former une image renversée à la distance E E. Mais ces faisceaux de lumière étant reçus par la lentille D, de divergens qu'ils étoient, deviennent, en la traversant, un peu convergens entre eux; et les rayons qui composent chaque faisceau, devenant plus convergens qu'ils ne l'étoient, se croisent plutôt, et forment, à peu de distance de là, l'image renversée *a b*. On place une seconde lentille oculaire F un peu plus près de cette image que la longueur de son foyer: moyennant cet arrangement (1357), les rayons divergens qui partent des points *a*, *b*, etc. (1190) perdent, en traversant cette lentille F, presque toute leur divergence; et les faisceaux partant de chaque point, deviennent entre eux assez convergens pour se croiser en O, où se place l'œil, et font voir l'image *a b* (qui est alors l'objet immédiat de la vision) sous l'angle *k* O *h*, incomparablement plus grand que ne seroit l'angle A O B, sous lequel l'objet seroit apperçu à la vue simple, s'il n'y avoit pas d'instrument entre lui et l'œil.

1669. Ce microscope est beaucoup plus commode que le simple. On y peut observer toutes sortes de petits objets, transparens ou opaques, colorés ou non, et avec la quantité de lumière convenable à chacun. Si l'on est curieux de connoître toutes les pièces qui rendent son usage commode à l'observateur, et pour les observations, on en trouvera la description dans mon *Dictionnaire raisonné de Physique*, au mot MICROSCOPE COMPOSÉ, *Tome II*.

1670. Au lieu de deux oculaires seulement, on

en met quelquefois un plus grand nombre. *Delbare*, qui a travaillé en Hollande, et qui est actuellement à Paris, en met jusqu'à cinq. Je ne connois point de meilleur microscope que le sien : en combinant différemment ses oculaires, soit relativement aux places qu'ils occupent, soit relativement aux intervalles qui les séparent, il produit les plus grands effets, et de la manière la plus satisfaisante.

1671. L'invention du microscope est postérieure à celle du télescope, qui lui-même n'a été découvert qu'environ 300 ans après l'invention des lunettes à lire (1575). Les microscopes ne sont connus que du commencement du dix-septième siècle, vers l'an 1620.

Microscope solaire.

1672. Le microscope solaire est un instrument de dioptrique, par le moyen duquel on voit en grand, dans une chambre obscure, les images de très-petits objets vivement éclairés par le soleil. Cet instrument, qui nous est venu de Londres en 1743, avoit été inventé peu de temps auparavant par le docteur *Liéberkuyn*, de l'Académie royale des Sciences de Berlin, et de la Société royale de Londres.

1673. Pour faire usage du microscope solaire, il faut avoir une chambre bien fermée et bien obscure, qui ait une fenêtre tournée vers le soleil, et au volet de laquelle il y ait un trou, propre à recevoir le porte-lumière, dans lequel s'ajustent les tuyaux et autres pièces qui portent les deux lentilles et le porte-objet dont ce microscope est composé. Moyennant cela, on peut introduire, au besoin, dans cette chambre

chambre obscure un gros faisceau de lumière solaire, que l'on dirige horizontalement, par le moyen d'un miroir plan mobile, placé en dehors de la fenêtre. On trouvera la description de toutes ces pièces dans mon *Dictionnaire raisonné de Physique*, au mot MICROSCOPE SOLAIRE, *tome II*.

1674. Supposons donc A B (*fig.* 273) le miroir plan, et qu'au trou du volet de la fenêtre on ait placé le porte-lumière auquel on ait ajusté un tuyau garni d'un verre convexe C, dont le foyer soit à 7 à 8 pouces (environ 200 millimètres) de distance: soit F G le faisceau de lumière solaire, qui, tombantsur le miroir A B, est réfléchi dans la direction horizontale G H, vers la lentille C, laquelle rassemble à son foyer les rayons solaires qui composent ce faisceau. Si nous supposons maintenant une petite lame de verre D, qui porte l'objet, placée dans ce jet de lumière vive, et que l'on en approche la lentille E, de manière que le porte-objet D en soit à une distance un peu plus grande que celle de son foyer (1668), les rayons de chaque faisceau qui partent de chaque point de l'objet, après avoir traversé la lentille E, sont un peu convergens entre eux; et tous ces faisceaux, s'étant croisés dans la lentille E, s'en vont, en divergeant entre eux, peindre une image renversée de cet objet, prodigieusement amplifiée, sur la muraille, ou sur une toile blanche I K, élevée verticalement à 10 ou 12 pieds (environ 3 mètres et demi) de distance, vers le fond de la chambre.

1675. Le microscope solaire est un instrument très-curieux et très-intéressant. Il est très-propre à

étendre les progrès de l'histoire naturelle et de la physique, par la facilité qu'il donne de voir en grand, et sans aucune fatigue, et par plusieurs personnes à la fois, des objets prodigieusement petits. Un cheveu y paroît gros comme un manche à balai; une puce, grosse comme un mouton, et même comme un bœuf. Un des spectacles qui fassent le plus de plaisir, c'est d'y voir la circulation du sang dans la queue d'un testard, ou la cristallisation des sels, et sur-tout celle du muriate d'ammoniaque. Le premier de ces spectacles ressemble à une carte de géographie enluminée, et dont toutes les rivières seroient animées par un véritable écoulement; et le second ressemble à une végétation miraculeuse, par la promptitude avec laquelle elle s'exécute.

1676. On peut, par le moyen de ce microscope, dessiner commodément les objets, et de telle grandeur que l'on veut; car leur grandeur apparente varie à volonté : il ne faut pour cela que faire varier la distance du plan I K au microscope, et changer un peu la distance respective des deux lentilles C et E. Et comme le plan I K est transparent, puisqu'il est de toile ou de taffetas, et qu'on voit l'image de l'objet presque aussi clairement derrière que devant, on pourra la copier derrière le plan : par-là l'ombre de la main n'interceptera pas la lumière, comme elle le feroit, si on la copioit par-devant

1677. La lanterne magique, instrument que nous devons au P. *Kirker*, jésuite allemand, et qui n'est d'aucune utilité, mais seulement de pure curiosité, ressemble beaucoup, par sa construction et ses effets, au microscope solaire : la lumière y a une

marche semblable, et ses rayons vont de même peindre en grand, sur un plan blanc, des objets peints sur des lames de verre. On l'éclaire avec la lumière d'une chandelle, ou mieux encore avec un gros jet de lumière solaire.

FIN DU TOME SECOND.



113.

Fig. 122.

Fig. 118.

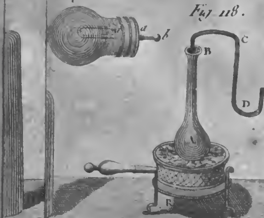


Fig. 115.



Fig. 120.

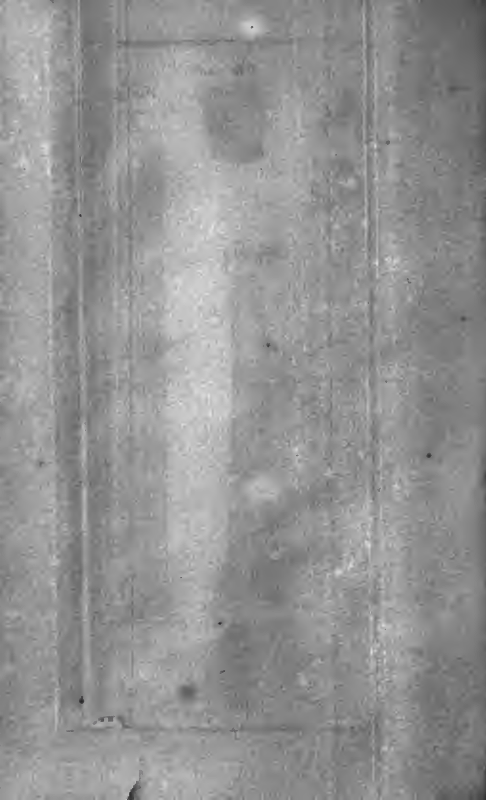


Fig. 121.





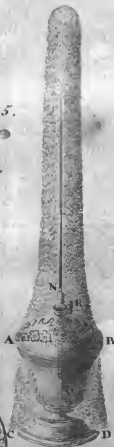
Benard Direxit







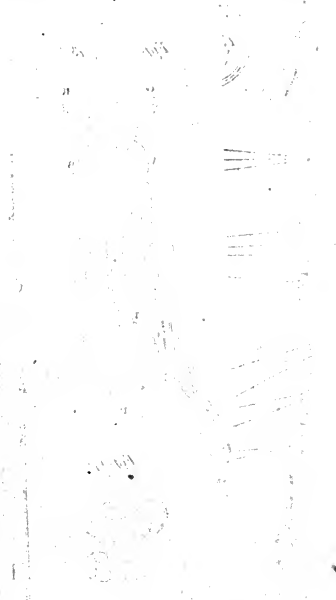






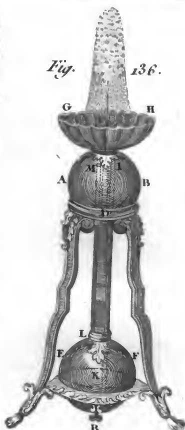


Benard Direxit



138.

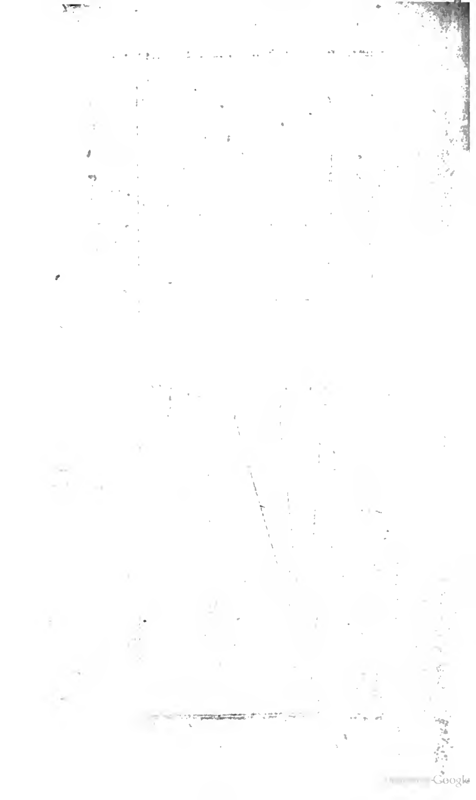
Fig

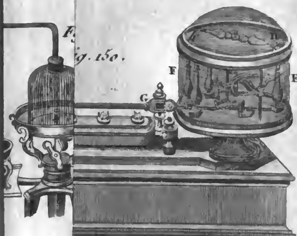


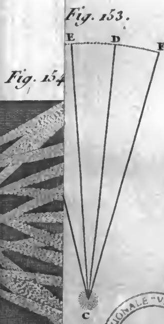




Benard Direxit.





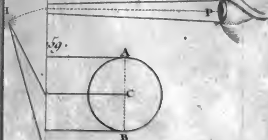


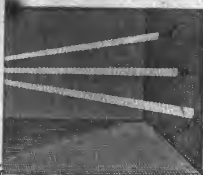


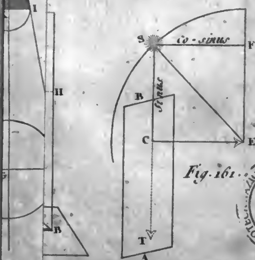


Benard Direxit.



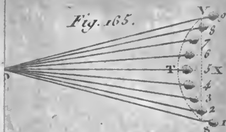


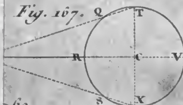


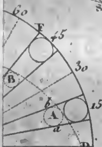


Benard Direxit.

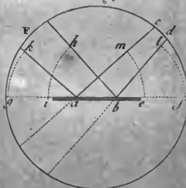


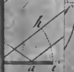








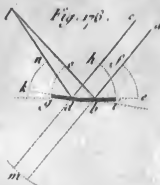




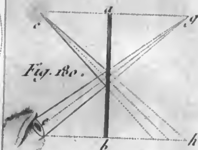
Benard Direxit.



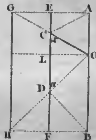






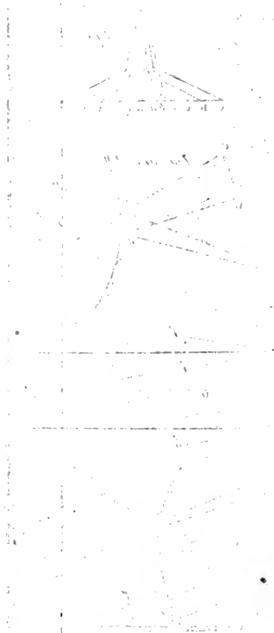


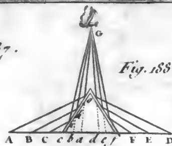


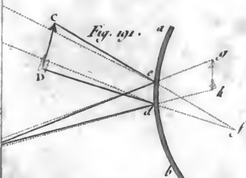


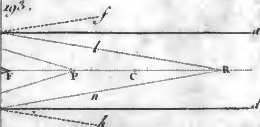


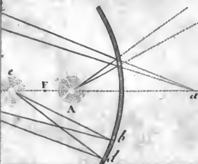
Benard Direxit.





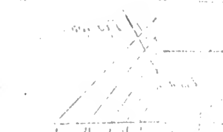


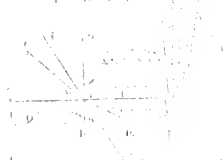


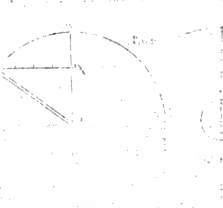




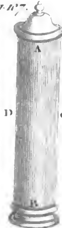
Benard Direxit.

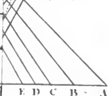




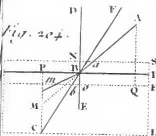




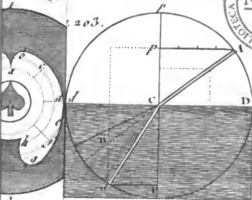




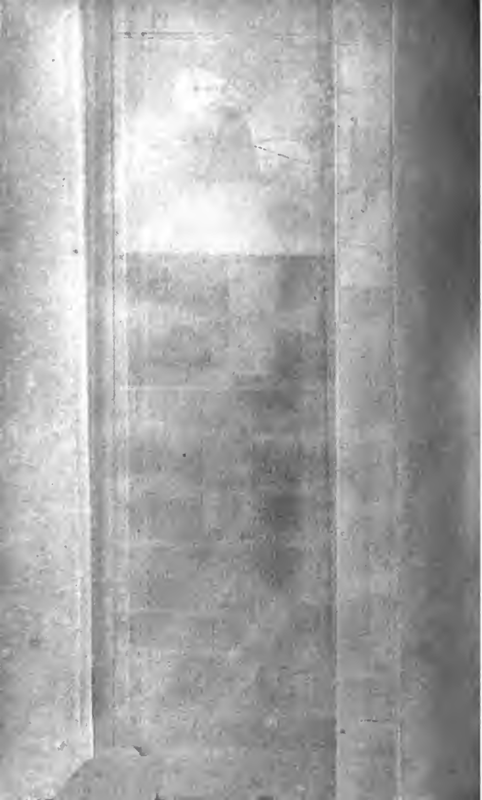


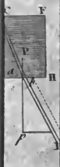






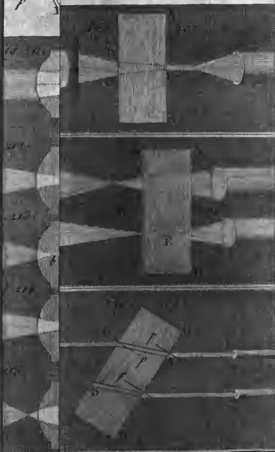
Benard Direxit.







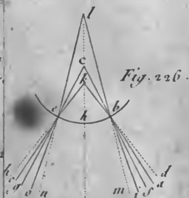


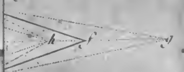


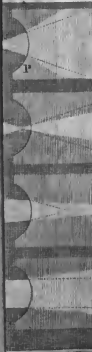
Benard Direxit.



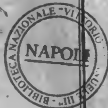








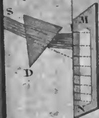




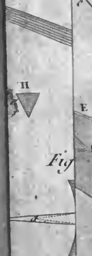


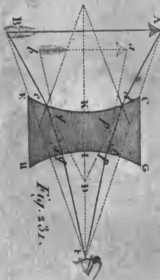
Bouard Direxit.

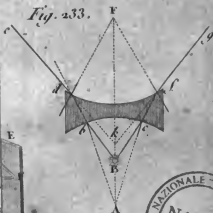






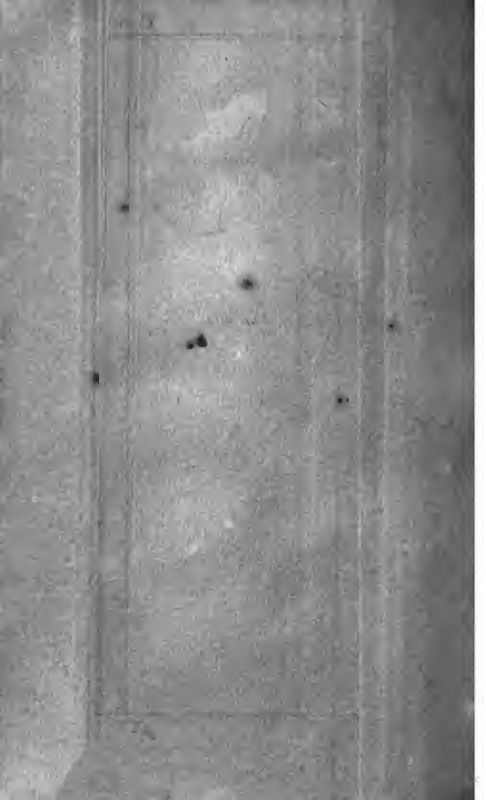


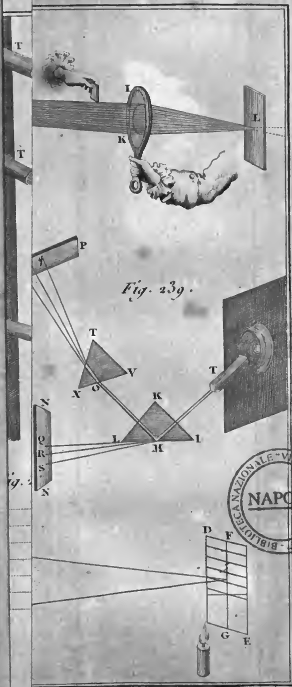






Benard Direxit.

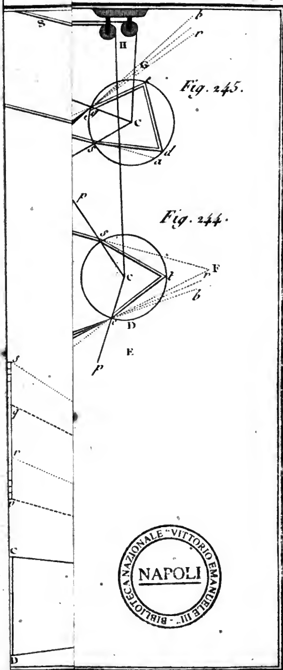




Benard Direxit.



Pl. 26



Benard Direxit.

Fig. 250.

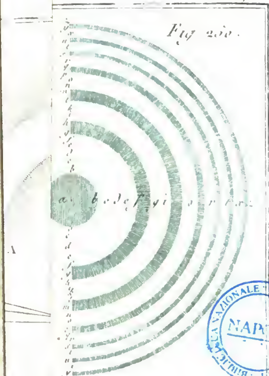
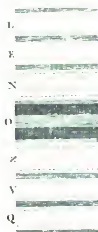
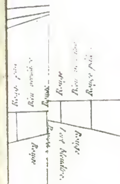




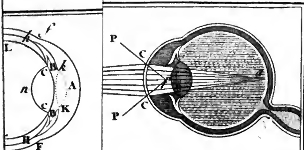
Fig. 248.

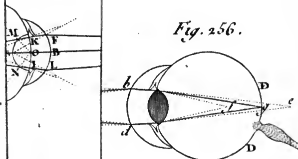


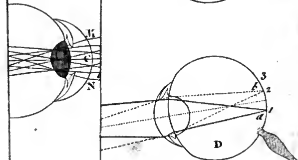


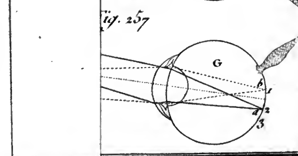
Benard Direxit.











Benard Direx.

[illegible]

Fig. 2

Fig. 260.



Renard Durant



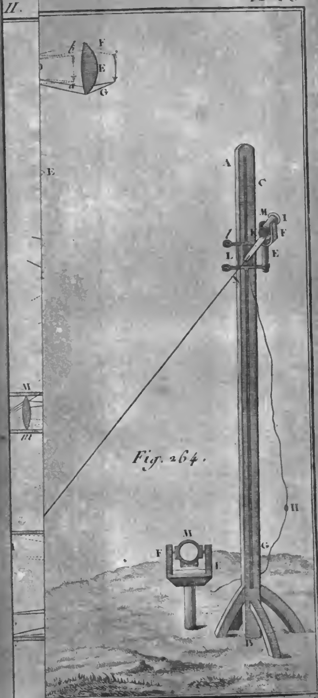


Fig. 264.

Benard Direxit



Pl. 31.

Fig. 268.



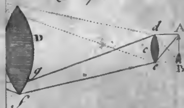
Fig. 269



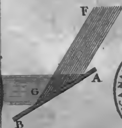
Fig. 270.



Fig. 272.









Benard Direxit.

